

乙

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日                      2 0 0 3 年    1 月 3 1 日  
Date of Application:

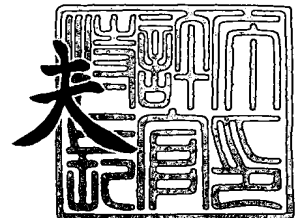
出 願 番 号                      特 願 2 0 0 3 - 0 2 4 7 3 5  
Application Number:  
[ST. 10/C] :                      [ J P 2 0 0 3 - 0 2 4 7 3 5 ]

出      願      人                      シャープ株式会社  
Applicant(s):

2 0 0 4 年    1 月 2 9 日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今 井 康 夫



出証番号    出証特 2 0 0 4 - 3 0 0 4 3 1 1

【書類名】 特許願

【整理番号】 02J04641

【提出日】 平成15年 1月31日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 H01S 5/06  
H01S 5/20  
H01S 5/22  
G11B 11/03

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府大阪市阿倍野区長池町 2 2 番 2 2 号 シャープ株式会社内

【氏名】 山崎幸生

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府大阪市阿倍野区長池町 2 2 番 2 2 号 シャープ株式会社内

【氏名】 伊藤茂稔

【特許出願人】

【識別番号】 000005049

【氏名又は名称】 シャープ株式会社

【代理人】

【識別番号】 100101823

【弁理士】

【氏名又は名称】 大前 要

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 039295

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0217675

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 基板と、前記基板上に形成された第 1 導電型の下部クラッド層と、前記下部クラッド層上に設けられ、前記第 1 導電型と導電型が異なる第 2 導電型の上部クラッド層と、前記下部クラッド層と前記上部クラッド層の間に設けられた活性層とを含み、光を水平方向に閉じ込めるリッジストライプ構造を有する半導体レーザ素子において、

前記下部クラッド層と前記上部クラッド層の少なくとも一方のクラッド層において、前記活性層で発生する基本次水平横モードの光に対する前記活性層と反対側の主面への放射損失と前記活性層で発生する 1 次水平横モードの光に対する前記活性層と反対側の主面への放射損失との放射損失差が、 $10\text{ cm}^{-1}$ 以上であることを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項 2】 基板と、前記基板上に形成された第 1 導電型である下部クラッド層と、前記第 1 導電型と導電型が異なる第 2 導電型の上部クラッド層と、前記下部クラッド層と前記上部クラッド層との間に設けられた活性層とを含み、光を水平方向に閉じ込めるリッジストライプ構造を有する半導体レーザ素子において、

前記下部クラッド層及び前記上部クラッド層の少なくとも一方のクラッド層の屈折率が、前記活性層で発生する基本次水平横モードの光に対する等価屈折率未満であり、かつ前記活性層で発生する 1 次水平横モードの光に対する等価屈折率以上であることを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項 3】 前記上部クラッド層が、一部の前記活性層上に設けられ、前記リッジストライプ構造の少なくとも一部を構成することを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の半導体レーザ素子。

【請求項 4】 基板と、前記基板上に設けられた第 1 導電型の下部クラッド層と、前記下部クラッド層上に設けられ、前記第 1 導電型と導電型が異なる第 2 導電型の上部クラッド層と、前記下部クラッド層と前記上部クラッド層との間に設けられた活性層とを含み、光を水平方向に閉じ込めるリッジストライプ構造を

有する半導体レーザ素子において、

前記上部クラッド層は、一部の前記活性層上に設けられ、前記リッジストライプ構造の少なくとも一部を構成することを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項 5】 前記活性層と前記上部クラッド層との間に設けられた、ストライプ形状の突出部を有する第 2 導電型の上部光導波層を更に含み、

前記上部光導波層の前記突出部は、前記リッジストライプ構造の一部を構成することを特徴とする請求項 3 又は 4 に記載の半導体レーザ素子。

【請求項 6】 前記下部クラッド層、前記上部クラッド層及び前記活性層が窒化物系半導体からなることを特徴とする請求項 1～5 のいずれか一項に記載の半導体レーザ素子。

【請求項 7】 前記下部クラッド層の屈折率と前記上部クラッド層の屈折率が異なることを特徴とする請求項 1～6 のいずれか一項に記載の半導体レーザ素子。

【請求項 8】 前記下部クラッド層の屈折率が前記上部クラッド層の屈折率よりも大きいことを特徴とする請求項 7 に記載の半導体レーザ素子。

【請求項 9】 前記下部クラッド層と前記上部クラッド層のうち屈折率の大きい方のクラッド層の前記活性層側表面から  $0.1\ \mu\text{m}$  以下の距離を隔てて設けられ、前記発光層で発生する光に対して  $100\ \text{cm}^{-1}$  以上の吸収を有する吸収層を更に含むことを特徴とする請求項 7 に記載の半導体レーザ素子。

【請求項 10】 前記基板の屈折率が、前記活性層で発生する基本横モードの光に対する等価屈折率より大きいことを特徴とする請求項 2～9 のいずれか一項に記載の半導体レーザ素子。

【請求項 11】 前記下部クラッド層は、前記基板側から順に積層された、第 1 導電型の第 1 下部クラッド層と、第 1 導電型の第 2 下部クラッド層と、第 1 導電型の第 3 下部クラッド層とを含み、

前記下部クラッド層の屈折率は、第 1 下部クラッド層の屈折率、第 2 下部クラッド層の屈折率及び第 3 下部クラッド層の屈折率の各層厚で重みをつけた加重平均値であり、かつ、

前記第 2 下部クラッド層の屈折率は、前記第 1 下部クラッド層の屈折率及び第

3 下部クラッド層の屈折率より小さく、かつ、

前記第 1 下部クラッド層の屈折率及び前記第 3 下部クラッド層の屈折率が、前記活性層で発生する基本次水平横モードの光に対する等価屈折率より小さい、ことを特徴とする請求項 10 に記載の半導体レーザ素子。

【請求項 12】 前記下部クラッド層と前記活性層の間に第 1 導電型の下部光導波層を更に含み、

前記下部光導波層の屈折率が、前記第 1 下部クラッド層の屈折率よりも大きく、かつ前記第 3 下部クラッド層の屈折率より大きいことを特徴とする請求項 10 に記載の半導体レーザ素子。

【請求項 13】 電気的信号で与えられる情報を光記録媒体に記録する光学式情報記録装置において、

請求項 1 ～ 12 のいずれか一項に記載の半導体レーザ素子と、

前記電気的信号に応じて前記半導体レーザ素子から記録用のレーザ光を射出させる記録光射出制御手段と、

前記半導体レーザ素子から射出したレーザ光を集光する集光手段と、

前記集光手段で集光されたレーザ光を前記光記録媒体の所定の位置に照射して前記情報を記録する照射位置制御手段と、を含むことを特徴とする光学式情報記録装置。

【請求項 14】 再生用の光を射出する再生用光源と、

再生命令信号に応じて前記再生用光源から前記再生用の光を射出させる再生光射出制御手段と、

前記再生用光源から射出された光を集光する再生用集光手段と、

前記集光手段で集光された光を前記光記録媒体の所定の位置に照射する再生光照射位置制御手段と、

前記光記録媒体で反射した光又は前記光記録媒体を透過した光を検出する光検出手段と、

前記光検出手段で検出された光学的信号を電気的信号に変換して前記光記録媒体に記録された情報を再生する光電気変換手段と、を更に含むことを特徴とする請求項 13 に記載の光学式情報記録装置。

**【請求項 15】** 消去用の光を射出する消去用光源と

消去命令信号に応じて前記消去用光源から前記消去用の光を射出させる消去光射出制御手段と、

前記消去用光源から射出された光を集光する消去用集光手段と、

前記集光手段で集光された光を前記光記録媒体の所定の位置に照射して記録された前記情報を消去する消去光照射位置制御手段と、

を更に含むことを特徴とする請求項 13 又は 14 に記載の光学式情報記録装置。

**【発明の詳細な説明】****【0001】****【発明の属する技術分野】**

本発明は、半導体レーザ素子及びそれを用いて光学的に情報を記録及び／又は再生を行う装置に関する。特に、窒化物系半導体レーザ素子に好適な発明に関する。

**【0002】****【従来の技術】**

従来より、種々の半導体材料を用いた半導体レーザ素子が研究されているが、現在実用化されている半導体レーザ素子としては、波長が比較的長い赤色領域から緑色領域であるレーザ光を射出する半導体レーザ素子（例えば、ヒ素化合物系半導体材料を活性層に用いたヒ素化合物系半導体レーザ）が主であった。このような半導体レーザは、主に、光学的に情報を記録及び／又は再生する装置の光源又は光学的に情報を伝達する装置の光源として用いられている。

**【0003】**

光学式情報記録装置等においては、情報記録速度の高速化の要請に伴い、高出力であり安定したレーザ光を発生させる半導体レーザが熱望されており、更に、記録媒体における情報記録密度の高密度化の要請に伴い、レーザ波長の短いレーザ光を射出する半導体レーザ素子が熱望されている。

**【0004】**

一般的な光学式情報記録装置では、記録方式として、記録媒体の記録層を構成する物質の結晶相変化又は磁気相転移を用いる方式が採用されており、レーザ光

のエネルギーは情報記録時の熱源として利用されている。したがって、情報記録速度の高速化を実現するためには、レーザ光の出力を高出力にする必要があった。

#### 【0005】

しかし、レーザ光の出力を高出力にするために電流注入量を増加させた場合、半導体レーザ素子は、基本次水平横モードで発振するのみではなく、高次水平横モードでも発振することが知られている。高次水平横モードで発振したレーザ光と基本次水平横モードで発振したレーザ光はスポット内における強度分布が異なるために、スポット径を増大させると共にスポットの楕円率を1から離れる値に変化させる。また、複数の水平横モードが発振するため安定なレーザ光を射出させることが困難となる。その結果、レーザ光を小さく集光させることができなくなったり、収束したレーザ光のスポットが位置ずれを起こしやすくなったり、記録密度を低下させたりすることとなる。

#### 【0006】

なお、横モードには、水平横モードと垂直横モードが存在するが、問題となるのは水平横モードにおける高次水平横モードの発振である。なぜなら、製造過程における長さの加工精度は、レーザ構造を構成する半導体層の積層方向の方が、積層方向と垂直な方向より、高いため、膜厚の制御により高次垂直横モードを発振させずに基本垂直横モードのみを発振させる素子構造とすることができるからである。

#### 【0007】

波長の短いレーザ光を射出する半導体レーザ素子としては、Ga<sub>2</sub>N、InN、AlN及びそれらの混晶半導体に代表される窒化物系半導体材料を活性層に用いて青色領域から紫外領域のレーザ光を射出する窒化物系半導体レーザ素子が挙げられ、近年、その試作も行われるようになってきた。例えば、第47回応用物理学関係連合講演会講演予稿集31p-YQ-8（非特許文献1）に記載された30mW程度まで基本次水平横モードで室温連続発振（室温CW）する窒化物系半導体レーザ素子や、ジャパニーズ・ジャーナル・オブ・アプライド・フィジクス39号L647-L650ページ（Shin-ichi Nagahama et al: Jpn. J. Appl. Phys



s. Vol. 39 (2000) pp. L647-L650) (非特許文献 2) に記載された 30 ~ 40 mW までは基本次水平横モードで室温連続発振し、ファーフールドパターン (FFP) 特性における垂直方向の半値全角が約 25 度でありその水平方向の半値全角が約 8 度である窒化物系半導体レーザ素子が挙げられる。波長の短いレーザ光は、波長の長いレーザ光より小さく絞ること (スポット径を小さくすること) ができるため、窒化物系半導体レーザ素子を光源として用いた光学式情報記録装置は、記録媒体への記録密度を従来に比べて高密度化できる次世代高密度情報記録装置として注目されている。

#### 【0008】

以下においては、半導体レーザ素子に、高出力まで安定した発振状態を維持させる具体的技術を説明する。

#### 【0009】

ストライプ領域内における水平方向キャリア分布及び水平方向光強度分布が非対称形状となることによる不安定状況を改善し、単一水平横モード (基本次水平横モードのみ) で高出力まで発振させるために、いわゆる実屈折率導波型 (リッジストライプ構造) の光導波路が採用された AlGaAs 系半導体レーザ素子が知られている。高出力まで基本次水平横モードで発振させるためには光導波路の幅 (以下、ストライプ幅と称す) を狭くすることが有効である。但し、狭くしすぎると、基本次水平横モードの光に対する光閉じ込めが弱くなり、また、半導体レーザ素子の閾値電圧が上昇することが知られている。したがって、ストライプ幅には最適値が存在する。

#### 【0010】

ストライプ幅を最適化する技術は、窒化物系半導体レーザ素子に対しても適用できる技術であるが、このストライプ幅の最適値は、レーザ発振の波長にほぼ比例するため、AlGaAs 系半導体レーザ素子に比べて、窒化物系半導体レーザ素子においては  $2.0 \mu\text{m}$  以下という小さな値となる。したがって、半導体レーザ素子の特性に与える影響は、ストライプ幅の設計値が狭くなるほど顕著となる。その結果、窒化物系半導体レーザ素子においては、半導体レーザ素子の特性に与える影響を十分小さくするためには、ストライプ幅の設計値から  $\pm 0.1 \mu\text{m}$

以内に作製する技術が要求される。しかし、この作製誤差の範囲内に収めることは、プロセス技術上、極めて困難である。したがって、窒化物系半導体レーザ素子に対しては、ストライプ幅の調整のみにより単一水平横モード（基本水平横モードのみ）で高出力まで発振させることは困難である。

#### 【0011】

図11は、従来型の典型的な半導体レーザ素子の構造を表わす模式的な断面図であり、紙面の表裏が共振器方向（軸方向）である。本半導体レーザ素子は、基板1101と、下部クラッド層1103と、下部光導波層1104と、3重量子井戸構造の活性層1105と、キャリアストップ層1106と、上部光導波層1107と、上部クラッド層1108と、コンタクト層1109とが積層された構成である。上部クラッド層1108は、中央にストライプ状の突出部を有し、その断面形状は凸形状である。コンタクト層1109は、上部クラッド層1108の突出部の上面の略全面にのみ形成されている。本半導体レーザ素子のリッジストライプ構造は、上部クラッド層1108の突出部とコンタクト層1109とによって構成されている。リッジストライプ構造は、上部クラッド層1108を構成することとなる上部クラッド膜とコンタクト層1109を形成することとなるコンタクト膜を成膜後に、フォトリソグラフィ技術とエッチング技術を用いて形成される。このとき、エッチングされる領域においては、コンタクト膜は完全にエッチングされ、かつ、上部クラッド膜は所定の膜厚を残すようにエッチングされる。本半導体レーザ素子では、活性層1105で発光した光は、この導波構造内に閉じ込められて、レーザ発振動作を生ずる。

#### 【0012】

さらに、本半導体レーザ素子は、エッチングされた領域の略全面に形成された、発振波長の光に対してほぼ透明な埋め込み層1110と、コンタクト層1109及び埋め込み層1110の略全面を覆うように形成された電極1112と、基板1101の2主面のうち、下部クラッド層1103が形成されている側と対向する面の略全面に形成された電極1111とを有する。リッジストライプ構造の両端面は、共振器のミラーとして機能する共振器面である。

#### 【0013】

図 12 は、従来型の典型的な半導体レーザ素子の構造を表す概念的な断面図である。本半導体レーザ素子においては、基板としてサファイア基板 1201 を用いていること、負電極 1211 がフォトリソグラフィ技術とエッチング技術とを用いて下部クラッド層 1203 に達するまでエッチングされた領域の面上に形成されていること以外は図 11 の半導体レーザ素子と同じである。

#### 【0014】

図 11 に示された構成の半導体レーザ素子において、単一水平横モード（基本水平横モードのみ）で高出力まで発振させるための改良方法としては、リッジストライプ領域外の下部クラッド層 1108 の層厚と上部光導波層 1107 の層厚との和（エッチング残し膜厚）を調整する方法が知られている。

#### 【0015】

エッチング残し膜厚が大きくなると、ストライプ領域内とストライプ領域外の局所的等価屈折率差が小さくなり、基本水平横モードに対して 1 次水平横モードの水平方向光閉じ込め係数が小さくなる。しかし、エッチング残し膜厚が大きくなりすぎると、基本水平横モードの光の水平方向閉じ込め係数が小さくなり、半導体レーザ素子の閾値電圧の上昇を招く。更に、エッチング残し膜厚が大きくなりすぎると、半導体レーザ構造内における発光の光強度分布が、水平方向に広がるため、射出されたレーザ光のファーフールドパターン（FFP）における水平方向の半値全角が狭くなる。これはレーザ光の楕円率（水平方向半値全角に対する FFP の垂直方向半値全角の比率）の悪化を招く。このような半導体レーザ素子を光学式情報記録再生装置に搭載した場合、レーザ光の光学系への結合効率が低下する。したがって、エッチング残し膜厚には最適値が存在し、ほぼ一意に決まってしまう。通常、エッチング残し膜厚は、上部光導波層の層厚より 0.001～0.15  $\mu\text{m}$  厚い膜厚に設定される。

#### 【0016】

図 11 に示した従来の窒化物系半導体レーザ素子における埋め込み層 1110 を活性層 1105 で発生する光に対して吸収性を有する材料で形成することにより、単一水平横モード（基本水平横モードのみ）で高出力まで発振させる方法が知られている。例えば、ジャパニーズ・ジャーナル・オブ・アプライド・フィ

ジクス 41 号 1829-1833 ページ (Tsuyoshi Tojyo et al : Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 41 (2002) pp. 1829-1833) (非特許文献 3) が挙げられる。非特許文献 3 に記載された窒化物系半導体レーザ素子は、図 11 に示された従来の窒化物系半導体レーザ素子における埋め込み層 1110 を、酸化シリコン ( $\text{SiO}_2$ ) からなる吸収層とした構成、及び、数十 nm の酸化シリコン ( $\text{SiO}_2$ ) 層とシリコン ( $\text{Si}$ ) 層とを有する 2 層構造の吸収層とした構成である。

#### 【0017】

図 17 は、従来の典型的な光学式情報記録再生装置の基本構成を示す模式図である。半導体レーザ素子 1701、コリメータレンズ 1702、ビームスプリッタ 1703、対物レンズ 1704、光ディスク 1705、光を検出する光検出系 1706、成形プリズム 1707 からなっている。ここに、半導体レーザ素子としては、従来の典型的な半導体レーザ素子を用いている。

#### 【0018】

記録動作時は、半導体レーザ素子から出射したレーザ光が、コリメータレンズで平行光もしくは平行に近い光に変換され、ビームスプリッタを経て、対物レンズにより集光されて、光ディスクの情報記録面に照射される。レーザ光の照射された光ディスクの情報記録面には、凹凸、磁気変調又は屈折率変調によりビット情報が書き込まれる。消去動作時は、上記記録動作時と同様の経路によって、レーザ光が光ディスクの情報記録面に照射され、記録されているビット情報を消去する。再生動作時は、半導体レーザ素子から射出されたレーザ光は、凹凸、磁気変調又は屈折率変調によりビット情報が記録されている光ディスクの情報記録面に、記録時及び消去時と同様の経路を経て照射される。その後、レーザ光は、光ディスクの反射面で反射され、対物レンズを通してビームスプリッタを透過し、光検出系に入射する。光検出系は、検出された光を電気的信号に変換して記録情報の読み取りを行う。

#### 【0019】

従来の半導体レーザ素子から射出されたレーザ光は楕円率が非常に大きく、光ディスクに照射する前に、成形プリズムによって楕円率を改善（楕円率を 1 に近づける）する必要がある。

## 【0020】

## 【非特許文献1】

第47回応用物理学関係連合講演会講演予稿集 31p-YQ-8

## 【非特許文献2】

Shin-ichi Nagahama et al. : Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 39 (2000) pp. L647-L650

## 【非特許文献3】

Tsuyoshi Tojyo et al. : Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 41 (2002) pp. 1829-1833

## 【0021】

## 【発明が解決しようとする課題】

本発明者らは、図11に示された従来の窒化物系半導体レーザ素子（以下、試験用レーザ素子Aと称す）を100個作製した。試験用半導体レーザ素子Aは、基板1101としてn型Ga<sub>0.99</sub>N基板（厚さ3μm）、下部クラッド層1103としてn型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>N層（膜厚0.5μm）、光導波層1104としてn型Ga<sub>0.99</sub>N層（膜厚0.1μm）、3重量子井戸構造の活性層1105における量子井戸層としてIn<sub>0.10</sub>Ga<sub>0.90</sub>N層（膜厚4nm）、活性層1105における障壁層としてn型In<sub>0.02</sub>Ga<sub>0.98</sub>N層（膜厚8nm）、キャリアブロック層1106としてp型Al<sub>0.20</sub>Ga<sub>0.80</sub>N層（膜厚20nm）、上部光導波層1107としてp型Ga<sub>0.99</sub>N層（膜厚0.1μm）、上部クラッド層1108としてp型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>N層（膜厚0.5μm）、コンタクト層1109としてp型Ga<sub>0.99</sub>N層（膜厚0.1μm）を含む構成とした。また、リッジストライプ構造のストライプ幅は2μmとした。

## 【0022】

図13は、半導体レーザ素子における電流-光出力特性（以下、I-L特性と略称する）を説明するための説明図である。細線は、直線的なI-L特性の一例であり、90mWまで直線的なI-L特性を示している。電流値が一定電流値（閾値電流I<sub>th</sub>）を越えると基本次水平横モードでの発振が開始され、電流値を更に上げても光出力が90mWまで直線的に増加する理想的な場合を示している。これに対し、太線は、試験用レーザ素子Aに対する典型的なI-L特性である。電流値が一定電流（閾値電流I<sub>th</sub>）を越えると基本次水平横モードでの発振が開

始されるが、電流値を更に上げていくと光出力が直線的に増加しない箇所を生じる。一般的に、このような箇所はキンクと呼ばれ、また、キンクが発生する際の光出力値はキンクレベル ( $P_k$ ) と呼ばれている。

#### 【0023】

本発明者らが、I-L特性においてキンクを生じた上記90個の試験用レーザ素子Aについて更に調査したところ、キンクが発生する原因は、水平横モードの変化（基本水平横モードから1次水平横モードへの変化）にあることが確認された。したがって、試験用レーザ素子AをDC電流で駆動した際、60mWの光出力まで基本水平横モードで発振した素子は10個であり、I-L特性においてキンクを有する残りの素子は上記出力の範囲内で高次水平横モードの発振を生じていたことが確認されたこととなる。これは、製造上の観点で見れば、従来の半導体レーザ素子の歩留りが10%と低い値であることを示しており、製造コストの増大を意味している。

#### 【0024】

また、I-L特性においてキンクを生じた上記90個の試験用レーザ素子Aの全てにおいて、I-L特性でキンクを生じた位置（キンクレベル）を境にして水平方向のファーフールドパターン（FFP）が変化することも確認された。

#### 【0025】

図14（a）及び（b）は、窒化物系半導体レーザ素子の水平方向FFPが光出力と共に変化する様子を説明するための説明図である。図14（a）は、ある窒化物系半導体レーザ素子の水平方向FFPを表しており、1401、1402はキンクレベル以下の光出力における水平方向FFP、1403、1404はキンクレベルを超える光出力における水平方向FFPである。この例では、キンクレベルの光出力を境にして、ピークを生ずる位置が移動することが観測された。また、図14（b）は、別の窒化物系半導体レーザ素子の水平方向FFPを表しており、1405、1406はキンクレベル以下の光出力における水平方向FFP、1407、1408はキンクレベルを超える光出力における水平方向FFPである。

#### 【0026】

本願発明者らは、更に、上記の試験用レーザ素子Aにおける透明な埋め込み層を活性層で発生する光を吸収する材料で形成した埋め込み層で置換した試験用レーザ素子Bを作製した。具体的には、試験用レーザ素子Bの埋め込み層を酸化シリコン ( $\text{SiO}_2$ ) で形成した。この試験用レーザ素子Bを用いて、酸化シリコン層の膜厚と埋め込み層の吸収による伝搬損失との相関及びエッチング残し膜厚と埋め込み層の吸収による伝搬損失との相関を調べた。

#### 【0027】

図15は、 $\text{SiO}_2$ 層の層厚に対する埋め込み層の吸収による伝搬損失を、基本水平横モード及び1次水平横モードのそれぞれについてプロットしたものであり、実線が基本水平横モードに、破線が1次水平横モードに対応している。基本水平横モードに比べて、1次水平横モードの方が、ストライプ領域の外側に染み出す電界強度分布の割合が大きいため、埋め込み層の吸収による影響を強く受ける。つまり、基本水平横モードと1次水平横モードに対する伝搬損失の差を大きくすることができる。

#### 【0028】

高出力まで基本水平横モードのレーザ光を維持し、1次水平横モードのレーザ光を十分カットするためには、この伝搬損失の差は少なくとも  $10\text{ cm}^{-1}$  以上は必要であり、大きいほどより望ましい。本構造では、 $\text{SiO}_2$ の厚さを薄くするほど基本水平横モードの伝搬損失も1次水平横モードの伝搬損失も指数関数的に増加するので、伝搬損失の差を大きくしようとすれば、同時に基本水平横モードの伝搬損失も大きくなる。基本水平横モードの伝搬損失が、 $2\text{ cm}^{-1}$ 程度（この値は、他の原因による伝搬損失約  $10\text{ cm}^{-1}$  とミラー損失約  $10\text{ cm}^{-1}$  とを加えた値の10分の1として算出した）を超えると、半導体レーザ素子の閾値電流の上昇及びスロープ効率（ $I-L$ 特性におけるレーザ発振領域における特性直線の傾き）の減少が顕著となり、動作電流の上昇を招く。これらを考慮すると、 $\text{SiO}_2$ をある程度以上薄くすることはできないことになる。

#### 【0029】

図16は、エッチング残し膜厚に対する、埋込み層の吸収による伝搬損失を、基本水平横モードと1次水平横モードについてプロットしたものであり、実線

が基本次水平横モードに対応し、破線が1次水平横モードに対応している。エッチング残し膜厚を大きくするほど、単調に増加するが、同時に基本次水平横モードに対する伝搬損失も大きくなり、 $2\text{ cm}^{-1}$ 程度を超えると、半導体レーザ素子の閾値電流の上昇、及びスロープ効率の減少が顕著となり、動作電流の上昇を招く点は、図15と同じ傾向である。また、エッチング残し膜厚を大きくすると、基本次水平横モードの水平方向光閉じ込めが弱くなるため、しきい値電流密度の上昇を招く上、水平FFPの半値全角が減少する。これは、FFPの楕円率増加に繋がり、光学式情報記録再生装置に搭載した際、集光されたレーザ光のスポット形状がより扁平な楕円形となり、クロストークを発生させる原因となる。

#### 【0030】

以上のように、従来の窒化物系半導体レーザ素子においては、基本次水平横モードの伝搬損失を $2\text{ cm}^{-1}$ 以下に抑えつつ、基本次水平横モードと1次水平横モードの伝搬損失の差を $10\text{ cm}^{-1}$ 以上にとることは不可能であった。

#### 【0031】

以上の理由により、特に、窒化物系半導体レーザ素子が高出力まで基本次横モード発振させる方法として、ストライプ幅を最適値に設定する、エッチング残し膜厚を大きくするのみ又は埋め込み層に吸収材料を入れるのみでは不十分であり、新しい方法が必要とされる。

#### 【0032】

本発明は上記に鑑みなされたものであり、I-L特性におけるキंकを抑制する新手法を提供し、パルス電流で駆動した場合のピーク出力が $60\sim 100\text{ mW}$ の高出力まで基本次水平横モードで発振する半導体レーザ素子を提供することを目的とする。また、ファーフィールドパターン(FFP)の楕円率を1に近づける改良を行うことを目的とする。

#### 【0033】

##### 【課題を解決するための手段】

上記の課題を解決するために、本発明に係る半導体レーザ素子の第1の態様は、基板と、基板上に形成された第1導電型の下部クラッド層と、下部クラッド層上に設けられ、第1導電型と導電型が異なる第2導電型の上部クラッド層と、下



部クラッド層と上部クラッド層との間に設けられた活性層とを含み、光を水平方向に閉じ込めるリッジストライプ構造を有する構成であって、下部クラッド層と上部クラッド層の少なくとも一方のクラッド層において、活性層で発生する基本水平横モードの光に対する活性層と反対側の主面への放射損失と活性層で発生する1次水平横モードの光に対する活性層と反対側の主面への放射損失との放射損失差が $10\text{ cm}^{-1}$ 以上であることを特徴とする。

#### 【0034】

また、上記の課題を解決するために、本発明に係る半導体レーザ素子の第2の態様は、基板と、基板上に形成された第1導電型である下部クラッド層と、第1導電型と導電型が異なる第2導電型である上部クラッド層と、下部クラッド層と上部クラッド層との間に設けられた活性層とを含み、光を水平方向に閉じ込めるリッジストライプ構造を有する構成において、活性層で発生する基本水平横モードの光に対する等価屈折率を $n_0$ とし、活性層で発生する1次水平横モードの光に対する1次等価屈折率を $n_1$ としたとき、下部クラッド層及び上部クラッド層の少なくとも一方のクラッド層の屈折率が $n_1$ 以上 $n_0$ 未満であることを特徴とする。

#### 【0035】

また、上記の課題を解決するために、本発明に係る半導体レーザ素子の第3の態様は、基板と、基板上に設けられた第1導電型の下部クラッド層と、下部クラッド層上に設けられた、第1導電型と導電型が異なる第2導電型の上部クラッド層と、下部クラッド層と上部クラッド層との間に設けられた活性層とを含み、光を水平方向に閉じ込めるリッジストライプ構造を有する構成において、上部クラッド層は、一部の活性層上に設けられてリッジストライプ構造の少なくとも一部を構成することを特徴とする。

#### 【0036】

また、上記の課題を解決するために、電気的信号で与えられる情報を光記録媒体に記録する本発明に係る光学式情報記録装置は、上記本発明に係る半導体レーザ素子と、電気的信号に応じて半導体レーザ素子から記録用のレーザ光を射出させる記録光射出制御手段と、半導体レーザ素子から射出したレーザ光を集光する

集光手段と、集光手段で集光されたレーザ光を光記録媒体の所定の位置に照射して情報を記録する照射位置制御手段とを含む構成とする。

### 【0037】

#### 【発明の実施の形態】

本発明の内容を説明すると共に、好ましい実施の形態を記述する。以下においては、まず、本発明に係る半導体レーザ素子と本発明に係る光学式情報記録装置について概観し、次に、より具体的な構成に関しては（実施の形態1）～（実施の形態5）において詳細に説明する。

### 【0038】

本発明に係る半導体レーザ素子について、図1に示された半導体レーザ素子を参考にしながら説明する。図1は、本発明に係る半導体レーザ素子の構造例を表わす模式的な断面図であり、半導体レーザ素子の共振器方向に垂直な断面を表わしている。

### 【0039】

図1に示された半導体レーザ素子は、第1導電型の基板101と、基板101の下面に接する第1導電型用の電極111と、基板101の上面に接する第1導電型の下地層102と、下地層102の上面に接する第1導電型の下部クラッド層103と、下部クラッド層103の上面に接する第1導電型の下部光導波層104と、下部光導波層104の上面に接する活性層105と、活性層105の上面に接するキャリアブロック層106と、キャリアブロック層106の上面に接し、中央部にその他の部分より上方に突出したストライプ形状の突出部を有する第2導電型の上部光導波層107と、上部光導波層107の突出部の上面に接する第2導電型の上部クラッド層108と、上部クラッド層108の上面に接する第2導電型のコンタクト層109と、上部光導波層107の突出部、上部クラッド層108及びコンタクト層109で形成されるリッジストライプ構造体の両側に設けられた埋め込み層110と、コンタクト層109及び埋め込み層110の上面を覆う第2導電型用の電極112とを含む構成（構成A）である。

### 【0040】

ここに、第1導電型及び第2導電型とはp型又はn型を意味し、第1導電型が

p型である場合には第2導電型はn型であり、第1導電型がn型である場合には第2導電型はp型である。

#### 【0041】

本発明の半導体レーザ素子において、第1導電型用の電極111及び第2導電型用の電極112は必須要素ではない。しかし、半導体レーザ素子を駆動するための電圧印加（電流供給）手段との電氣的接続を確実に行うために、通常は、第1導電型用の電極111と第2導電型用の電極112が半導体レーザ素子に形成される。第1導電型用の電極111及び第2導電型用の電極112は、単一の金属材料又は合金材料からなる単層電極であっても、互いに異なる金属材料又は合金材料からなる積層電極であってもよい。

#### 【0042】

本発明に係る半導体レーザ素子の第1の態様においては、下部クラッド層103と上部クラッド層108の少なくとも一方のクラッド層において、活性層105で発生する基本次水平横モードの光に対する活性層105と反対側の主面からの放射損失と活性層105で発生する1次水平横モードの光に対する活性層105と反対側の主面からの放射損失との放射損失差が $10\text{ cm}^{-1}$ 以上であるという条件を満たす限りにおいて、図1で示された構成（構成A）ばかりでなく、上部光導波層107が突出部を有さず平坦な層である構成（構成B）や突出部を有さず平坦な上部光導波層と中央部にその他の部分より上方に突出したストライプ状の突出部を有するクラッド層とを備えた構成（構成C）とすることもできる。

#### 【0043】

なお、構成Aの場合は、下地層102、下部光導波層104、キャリアブロック層106及びコンタクト層109は必須要素ではなく、構成B又は構成Cの場合は、下地層、下部光導波層、キャリアブロック層、上部光導波層及びコンタクト層は必須要素ではない。しかし、高性能な半導体レーザ素子を構成するためには、下部光導波層102、キャリアブロック層106、上部光導波層107及びコンタクト層109を備えることが好ましい。更に、窒化物系半導体レーザ素子の場合、ヒ素化合物系半導体レーザ素子に比べて、結晶性の良好な窒化物系半導体層を形成できる基板が知られていないため、下地層102を設けることが好ま

しい。

#### 【0044】

本発明に係る半導体レーザ素子の第2の態様においては、下部クラッド層103及び上部クラッド層108の少なくとも一方のクラッド層の屈折率が、活性層105で発生する基本次水平横モードの光に対する等価屈折率未満であり、かつ活性層105で発生する1次水平横モードの光に対する等価屈折率以上であるという条件を満たす限りにおいて、図1で示された構成（構成A）ばかりでなく、上部光導波層107が突出部を有さず平坦な層である構成（構成B）や突出部を有さず平坦な上部光導波層と中央部にその他の部分より上方に突出したストライプ状の突出部を有するクラッド層とを備えた構成（構成C）とすることもできる。

#### 【0045】

第2の態様の構成であれば、下部クラッド層103又は上部クラッド層108側から外に、基本次水平横モードの光より、1次水平横モードの光を優位に放射できるため、I-L特性曲線におけるキंकを抑制し、高出力まで基本次水平横モードで発振させることができる。

#### 【0046】

なお、第2の態様の場合も、構成Aにおいては、下地層102、下部光導波層104、キャリアブロック層106及びコンタクト層109は必須要素ではなく、また、構成B又は構成Cにおいては、下地層、下部光導波層、キャリアブロック層、上部光導波層及びコンタクト層は必須要素ではない。しかし、高性能な半導体レーザ素子を構成するためには、下部光導波層104、キャリアブロック層106、上部光導波層107及びコンタクト層109を備えることが好ましい。

#### 【0047】

本発明に係る半導体レーザ素子の第3の態様においては、図1で示された構成（構成A）ばかりでなく、上部光導波層が突出部を有さず平坦な層である構成（構成B）とすることもできる。なお、半導体レーザ素子の第3の態様においては、下地層102、下部光導波層104、キャリアブロック層106及びコンタクト層109は必須要素ではないことに注意を要する。しかし、高性能な半導体レ

ーザ素子を構成するためには、これらの層を備えることが好ましい。

#### 【0048】

構成Aの半導体レーザ素子においては、第1導電型用の電極111を基板の下面に形成したが、図12の如く、下部クラッド層の上面に第1の電極を形成した構成（構成D）であってもよい。構成Dにおける基板として、導電性を有さない基板を用いることができる。なお、半導体レーザ素子の第1の態様、第2の態様及び第3の態様のいずれにおいても構成Dを適用することができる。

#### 【0049】


本発明に係る半導体レーザ素子は、単一材料からなる単層の活性層や異なる材料からなる複数の層が積層した活性層を備えた構成とすることができる。複数の層が積層した活性層としては、単一量子井戸構造の活性層や多重量子井戸構造の活性層が挙げられる。単一量子井戸構造の活性層は、1つの量子井戸層が障壁層で挟まれた構成である。また、多重量子井戸構造は、量子井戸層と障壁層とが順次積層されており、かつ最下層と最上層に障壁層を備えた構成（障壁層／量子井戸層／障壁層／・・・／量子井戸層／障壁層）である。

#### 【0050】

本発明に係る半導体レーザ素子としては、例えば、窒化物系半導体レーザ素子、ヒ素化合物系半導体レーザ素子、セレン化合物系半導体レーザ素子、リン化合物系半導体レーザ素子が挙げられる。ここに、窒化物系半導体レーザ素子とは、窒化物系半導体からなる活性層を有する半導体レーザ素子である。他の半導体レーザ素子も同様に定義される。

#### 【0051】

ここに、窒化物系半導体とは、通常、 $Al_pIn_qGa_{1-p-q}N$  ( $0 \leq p \leq 1$ ,  $0 \leq q \leq 1$ ,  $0 \leq p + q \leq 1$ ) からなる結晶を意味するが、本明細書における窒化物系半導体とは、 $Al_pIn_qGa_{1-p-q}N$ のみからなる結晶ばかりでなく、III族原子（Al、In、Ga）の一部（20原子数%以下）を、B、Cr、V、Ti、Nb、Ta、Zr、Sc、Tl、Gd、Laで置換した結晶や、VI族原子であるN原子の一部（20原子数%以下）を、P、As、Sbで置換した結晶や、それらの結晶に不純物としてB、Al、In、Tl、P、As、Sb、B



e、Mg、Cd、Zn、C、Si、Ge、Sn、O、S、Se、Te、H、Sc、Cu、Fe、Ti、V、Cr、Y、Zr、Nb、ランタノイド等が添加されていてもよい。また、本明細書において、n型窒化物系半導体及びp型窒化物系半導体とは、窒化物系半導体に導電型を規定する不純物を含有していることを意味する。他の半導体についても、窒化物系半導体に対する例示と同様に広義に解する。

#### 【0052】

構成A及び構成Bの半導体レーザ素子の場合、基本次水平横モードに対する等価屈折率及び1次水平横モードに対する等価屈折率が構成Cに比べて小さくなるため、基本次水平横モードより1次水平横モードの光を優位に下部クラッド層103及び上部クラッド層108側に放射することができる。これにより、1次水平横モードの発振を抑制することができる。1次水平横モードに対する等価屈折率のみが下部クラッド層103（又は、上部クラッド層108）の屈折率を下回っており、基本次水平横モードに対する等価屈折率は下部クラッド層103（又は、上部クラッド層）の屈折率を上回っているという状態となるようにエッチング残し膜厚を設定することが好ましい。なお、これに関しては、具体的な半導体レーザ素子に基づき、実施の形態2において詳細に説明することとする。

#### 【0053】

また、本発明の半導体レーザ素子において、下部クラッド層103及び上部クラッド層108の少なくとも一方のクラッド層の屈折率が、活性層105で発生する基本次水平横モードの光に対する等価屈折率未満であり、かつ活性層105で発生する1次水平横モードの光に対する1次等価屈折率を以上であると、基本次水平横モードの光と比べて、1次水平横モードの光を優位に上記条件を満たすクラッド層から放射することができる。これにより、1次水平横モードの発振を抑制することができる。なお、これに関しては、具体的な半導体レーザ素子構造に基づき、実施の形態2において詳細に説明することとする。

#### 【0054】

また、本発明の半導体レーザ素子においては、下部クラッド層103の屈折率と上部クラッド層108の屈折率は、同じ値であってもよいし、異なる値であつ

てもよい。下部クラッド層 103 の屈折率と上部クラッド層 108 の屈折率を異ならせた場合、屈折率の高い方のクラッド層側への放射損失を助長することができる。

#### 【0055】

一般的に、上部クラッド層 108 と第 2 導電型用の電極 112 との距離より、下部クラッド層 103 と第 1 導電型用の電極 111 との距離の方が長いため、下部クラッド層 103 側への放射損失を助長することが好ましい。なぜなら、第 1 導電型用の電極 111 と第 2 導電型用の電極 112 は良好な光反射性を有するため、上部クラッド層 108 側へ放射された場合より、下部クラッド層 103 側へ放射された場合のほうが、それらで反射した光が活性層 105 へ戻る可能性が低くなるからである。また、上部クラッド層 108 側への放射損失を助長するよりも、下部クラッド層 103 側への放射損失を助長する方が、FFP における楕円率を 1 に近づけることができる。

#### 【0056】

また、本発明の半導体レーザ素子において、基板 101 の屈折率が、1 次水平横モードに対する等価屈折率以上の値であれば、基板 101 を透過させて光を放射させることもできる。したがって、この条件を満たす基板 101 を用い、かつ、下部クラッド層 103 の屈折率を上部クラッド層 108 の屈折率より大きい値に設定することが好ましい。

#### 【0057】

また、本発明の半導体レーザ素子においては、下部クラッド層 103 と上部クラッド層 108 のうち屈折率の大きい方のクラッド層の活性層側表面から  $0.1 \mu\text{m}$  以下の距離を隔てて設けられ、発光層で発生する光に対して  $100 \text{ cm}^{-1}$  以上の吸収を有する吸収層を更に備えた構成とすることができる。この構成であれば、放射損失の助長されたクラッド層側に吸収層を設けることとなり、この吸収層によって生じる吸収損失によって、基本次水平横モードと 1 次水平横モードの伝搬損失差を更に助長させることができる。更に、屈折率の高い方のクラッド層を分割し、分割したクラッド層の間に吸収層を設ける構成とすることもできる。

#### 【0058】

また、本発明の半導体レーザ素子においては、発光層 105 で発生する光に対して吸収性を有する基板 101 を用いた構成であってもよい。この構成であれば、吸収層を設けずとも良好に下部クラッド層 103 側へ放射された光を吸収させることができる。

#### 【0059】

また、本発明の半導体レーザ素子においては、下部クラッド層 103 を、基板側から順に積層された、第 1 下部クラッド層と、第 2 下部クラッド層と、第 3 下部クラッド層とを含み、第 2 下部クラッド層の屈折率が、第 1 下部クラッド層の屈折率及び第 3 下部クラッド層の屈折率より小さい構成とすることができる。更に、第 1 下部クラッド層の屈折率及び第 3 下部クラッド層の屈折率を、活性層で発生する基本次水平横モードの光に対する等価屈折率より小さい構成とすることが好ましい。なお、これに関しては、具体的な半導体レーザ素子構造に基づき、実施の形態 2 において詳細に説明することとする。

#### 【0060】

本発明の半導体レーザ素子に対しては、埋め込み層 110 を発光層で発光する光に対して吸収性を有する吸収性埋め込み層とする従来の技術を併用することができる。この構成であれば、1 次水平横モードの発振を更に抑制することができる。

#### 【0061】

以下に、本発明の理解に必要な語句について説明する。まず、本明細書において、「垂直方向」とは、半導体層の層厚方向を指す。また、「水平方向」とは、共振器面に平行でかつ、半導体層の層厚方向に対し垂直な方向を意味する。

#### 【0062】

本明細書において、「ストライプ内の局所的等価屈折率」とは、ストライプ内垂直方向の屈折率分布を有し、水平方向はこれと同じ屈折率分布を持つ仮想的なスラブ導波路を考え、このような構造において通常の電界分布計算により求まる等価屈折率とする。なお、本明細書において、「ストライプ外の局所的等価屈折率」の求め方については、後述する。

#### 【0063】



水平横モードとは、ストライプ幅  $W$  に対し、下記数式 1 に示される局所的等価屈折率分布  $n(y)$  で決まる屈折率分布を有する仮想的なスラブ導波路を考え、このような構造において通常電界分布計算により求まるモードを指すものとする。基本横モード、1 次水平横モードとは、水平横モードの基本横モード、1 次モードをそれぞれ意味する。

【数 1】

$$n(y) = N_{in}(|y| \leq W), N_{out}(|y| > W)$$

【0064】

また、水平方向閉じ込め係数  $\Gamma_{||}$  とは、水平横モードの水平方向光強度分布を  $I(y)$  とし、半導体レーザ素子のストライプ幅内を下記数式 2 として下記数式 3 で定義される量とする。

【数 2】

$$|y| \leq W/2$$

【数 3】

$$\Gamma_{||} = \frac{\int_{-W/2}^{W/2} I(y) dy}{\int_{-\infty}^{\infty} I(y) dy}$$

【0065】

電界分布計算は、スラブ導波路における通常電界分布計算を指す。手法は、例えば、ジャーナル・オブ・アプライド・フィジックス 84 号 1196 から 1203 ページ (M. J. Bergmann and H. C. Casey, Jr.: J. Appl. Phys. vol. 84 (1998) pp. 1196-1203) を参照することができる。電界分布計算におけるパラメータである、発振波長  $\lambda$  [nm] における各材料の屈折率  $n$  は、次により、求められる。発振波長  $\lambda$  は 300 ~ 800 nm の範囲とすることができる。例えば、窒化物系半導体材料のパラメータ  $E_g$  [eV] は下記数式で与えられる。

## 【数 4】

$$Eg = Eg_1[s] = 3.42(1-s) + 2.65s - 3.94s(1-s)$$

(  $In_sGa_{1-s}N$  ( $0 \leq s \leq 1$ ) の場合)

$$Eg = Eg_2[t] = 3.42(1-t) + 6.2t - 1.057t(1-t)$$

(  $Al_tGa_{1-t}N$  ( $0 \leq t \leq 1$ ) の場合)

$$Eg = (s \cdot Eg_1[s+t] + t \cdot Eg_2[s+t]) / (s+t)$$

(  $In_sAl_tGa_{1-s-t}N$  ( $0 < s < 1, 0 < t < 1$ ) の場合)

## 【0066】

これにより、屈折率は、下記数式 5 に従って求められる。

## 【数 5】

$$n(p[\lambda]) = [4.3663801 + p^2 / (p^2 - 295.9^2)]^{0.5}$$

( $p[\lambda] > 360.7$  の場合)

$$n(p[\lambda]) = c_0 + c_1 \cdot q + c_2 \cdot q^2 + c_3 \cdot q^3 + c_4 \cdot q^4$$

( $p[\lambda] \leq 360.7$  の場合)

(ここに、

$$p[\lambda] = 1 / [1/\lambda - (Eg - 3.42) / 1239.852]$$

$$q = p[\lambda] - 360$$

$$c_0 = 2.718$$

$$c_1 = 9.976 \times 10^{-3}$$

$$c_2 = 3.005 \times 10^{-4}$$

$$c_3 = 4.584 \times 10^{-6}$$

$$c_4 = 2.59610^{-8}$$

である。)

## 【0067】

本明細書において、「放射損失」とは、作製したレーザ構造について、有限差分法によるビーム伝搬法 (Finite Difference Beam Propagation Method, FD-BPM) により求まる計算値を指すものとする。FD-BPMについては、例えば W.P.Huang, IEEE J.Quantum Electron. 29(1993)2639 を参照することが出来る。まず、初期値として適切な光強度分布 (基本次モードを求める場合は単峰な光強度分布を、1 次モードを求める場合は双峰の光強度分布を与える) を作製したレーザの構造に入射させ、300  $\mu m$  伝搬させた後の光強度分布を、FD-BPM により計算すると、同計算構造における横モード成分のみが選択的に伝播し、

他の成分は計算構造外に伝搬していき、 $300\mu\text{m}$ 伝搬する間に無視できる強度まで減少するため、伝搬後の光強度分布は同計算構造における横モードの光強度分布とみなすことが出来る。次に、求まった横モード光強度分布を改めて同じ計算構造内に入射させ、単位長さだけ伝搬させた後のパワー減衰割合から、同構造における放射損失を求めることができる。ここで、計算構造は、走査型電子顕微鏡 (SEM) により求めた層厚・及びX線から求めたIn混晶比及びAl混晶比から、レーザ構造の共振器方向に垂直な断面における屈折率分布を求め、さらに活性層中央面とリッジ中央面と共振器方向に垂直な断面との交点を原点とした、垂直方向 $\pm 4\mu\text{m}$ 、水平方向 $\pm 4\mu\text{m}$ 以内の領域のみとした。この計算構造より外に放射した光は、放射損失として取り扱っている。また、上記計算構造の周囲は、透明境界条件を用いた。透明境界条件については、例えばG.R.Hadley, Optics Lett. 16(1991)624を参照することが出来る。また、差分化する際のセルの大きさは、計算構造内で一定とし、縦 $0.04\mu\text{m}$ 以下、横 $0.1\mu\text{m}$ 以下とした。

#### 【0068】

本発明の光学的に情報を記録及び／又は再生を行う装置は、情報の記録するための記録光の光源又は情報を再生するための光源として、上記本発明に係る半導体レーザ素子を少なくとも1つ備えることを特徴とする。記録光の光源又は再生光の光源として本発明に係る半導体レーザ素子を備える限りにおいて、その他の構成には公知のいかなる構成を用いてもよい。

#### 【0069】

本発明に係る光学式情報記録装置は、本発明に係る半導体レーザ素子と、電気的信号に応じて半導体レーザ素子から記録用のレーザ光を射出させる記録光射出制御手段と、半導体レーザ素子から射出したレーザ光を集光する集光手段と、集光手段で集光されたレーザ光を光記録媒体の所定の位置に照射して情報を記録する照射位置制御手段と、を含む構成である。この構成の場合、光学的記録専用装置とも呼ばれる。高出力まで基本次水平横モードで発振するばかりでなく、FFPにおける楕円率を1に近づけた半導体レーザ素子を用いたことにより、楕円形のビームスポットを円形近づけるため手段、例えば、通常必ず使用していた形成プリズム、を用いない構成とすることもできる。

## 【0070】

本発明に係る光学式情報記録装置は、再生用の光を射出する再生用光源と、再生命令信号に応じて再生用光源から光を射出させる再生光射出制御手段と、再生用光源から射出された光を集光する再生用集光手段と、集光手段で集光された光を光記録媒体の所定の位置に照射する再生光照射位置制御手段と、光記録媒体で反射した光又は光記録媒体を透過した光を検出する光検出手段と、光検出手段で検出された光学的信号を電気的信号に変換して光記録媒体に記録された情報を再生する光電気変換手段と、を更に含む構成とすることもできる。この場合、情報の記録と共に記録された情報を再生することができる。この構成の場合、光学的情報記録再生装置とも呼ばれる。

## 【0071】

本発明の光学的情報記録再生装置は、記録用光源と再生用光源として1つの本発明に係る半導体レーザ素子を有する構成であっても、本発明に係る半導体レーザ素子を含む2つの異なる光源であってもよい。1つの半導体レーザ素子で記録用光源と再生用光源を兼用する場合、異なる強度を射出できる構成が必要である。また、その他のいかなる手段においても記録用と再生用に兼用して、装置の構造を簡素化する構成であってもよい。

## 【0072】

本発明に係る光学的情報記録装置及び光学的情報記録再生装置は、消去用の光を射出する消去用光源と、消去命令信号に応じて消去用光源から消去用の光を射出させる消去光射出制御手段と、消去用光源から射出された光を集光する消去用集光手段と、集光手段で集光された光を光記録媒体の所定の位置に照射して記録された情報を消去する消去光照射位置制御手段と、を更に含む構成とすることもできる。この構成の場合、消去可能型の光学的情報記録装置又は消去可能型の光学的情報記録再生装置とも呼ばれる。

## 【0073】

本発明の消去可能型の光学的情報記録装置は、記録用光源と消去用光源として1つの本発明に係る半導体レーザ素子を有する構成であっても、本発明に係る半導体レーザ素子を含む2つの異なる光源であってもよい。また、本発明の消去可

能型の光学的情報記録再生装置は、記録用光源と再生用光源と消去用として1つの本発明に係る半導体レーザ素子を有する構成であっても、本発明に係る半導体レーザ素子を含む2つ又は3つの異なる光源であってもよい。また、その他のいかなる手段においても記録用、再生用及び消去用のいずれか2つ以上に兼用して、装置の構造を簡素化する構成であってもよい。

#### 【0074】

また、再生用の光を射出する本発明に係る半導体素子と、再生命令信号に応じて再生用光源から光を射出させる再生光射出制御手段と、再生用光源から射出された光を集光する再生用集光手段と、集光手段で集光された光を光記録媒体の所定の位置に照射する再生光照射位置制御手段と、光記録媒体で反射した光又は光記録媒体を透過した光を検出する光検出手段と、光検出手段で検出された光学的信号を電気的信号に変換して光記録媒体に記録された情報を再生する光電気変換手段と、を含む構成の光学の再生装置であってもよい。この構成の場合、光学の再生専用装置とも呼ばれる。

#### 【0075】

更に、光ファイバー等の光学的に情報を伝達する媒体に光学的信号を射出する光学的情報伝達装置の光源として本発明に係る半導体レーザ素子を用いてもよい。光学的情報伝達装置としては、例えば、電気的信号で与えられる情報を光学的信号に変換して媒体に射出する装置や光学的信号を中継する装置が挙げられる。

#### 【0076】

(実施の形態1)

本実施の形態に係る半導体レーザ素子は、リッジストライプ構造を有する窒化物系半導体レーザ素子である。本窒化物系半導体レーザ素子の構造は図1に示された半導体レーザ素子と同じ構造であるため、図1を参照しながらその構成を説明する。

#### 【0077】

本半導体レーザ素子は、n型Ga<sub>0.99</sub>Nからなる基板101（好ましくは、膜厚が30～500μm）、n型Ga<sub>0.99</sub>Nからなる下地層102（好ましくは、膜厚が0.1～10μm）、n型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N（好ましくは、0.04≤x≤0.15

からなる下部クラッド層 103 (好ましくは、膜厚が  $0.8 \mu\text{m}$  以上)、n 型 GaN からなる下部光導波層 104 (好ましくは、膜厚が  $0 \sim 0.15 \mu\text{m}$ )、 $\text{In}_w\text{Ga}_{1-w}\text{N}$  (好ましくは、 $0 < w \leq 0.2$ ) からなる量子井戸層及び n 型  $\text{In}_v\text{Ga}_{1-v}\text{N}$  ( $0 \leq v < w$ ) からなる障壁層を交互に積層させた多重量子井戸構造の活性層 105 (好ましくは、総膜厚が  $5 \sim 100 \text{nm}$ )、p 型  $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$  からなるキャリアブロック層 106 (好ましくは、膜厚が  $0 \sim 0.1 \mu\text{m}$ )、中央部にその他の部分より上方に突出した突出部を有し p 型 GaN からなる上部光導波層 107 (好ましくは、中央部の膜厚  $0.05 \sim 0.15 \mu\text{m}$ )、上部光導波層の突出部上に形成された p 型  $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  (好ましくは、 $0.04 \leq y \leq 0.15$ ) からなる上部クラッド層 108 (好ましくは、膜厚が  $0.4 \mu\text{m}$  以上)、上部クラッド層上に形成された p 型 GaN からなるコンタクト層 109 (好ましくは、膜厚が  $0.01 \sim 10 \mu\text{m}$ ) と、上部光導波層の突出部、上部クラッド層及びコンタクト層で構成されるリッジストライプ構造体の両側に設けられた埋め込み層 110 と、正電極 112 と、負電極 111 とを備える。

#### 【0078】

本窒化物系半導体レーザ素子の発光波長は、 $370 \sim 430 \text{nm}$  の範囲であり、活性層 105 における量子井戸層及び障壁層を形成する InGa<sub>N</sub> 半導体の混晶比及び各層の膜厚によって調整される。

#### 【0079】

活性層 105 における量子井戸層の層数は、2～6 層が好ましく、特に 2 又は 3 層が好ましい。量子井戸層の半導体がノンドープの半導体である構成を示したが、Si 等を含む n 型半導体を採用した構成とすることもできる。また、障壁層の半導体が n 型半導体である構成を示したが、ノンドープの半導体を採用した構成とすることもできる。

#### 【0080】

また、下部光導波層 104、上部光導波層 107 及びキャリアブロック層 106 には導電型不純物を含むことにより導電型の規定されている半導体を採用した構成を示したが、それらの層にノンドープの半導体を採用した構成とすることもできる。

## 【0081】

p型用の電極112（正電極）としては、例えば、ニッケル（Ni）膜上に金（Au）膜を積層してなるAu/Ni電極やパラジウム（Pd）膜上に金（Au）膜を積層してなるAu/Pd電極が挙げられる。また、n型用の電極（負電極）としては、例えば、チタン（Ti）膜にアルミニウム（Al）膜を積層してなるAl/Ti電極やタンゲステン（W）膜に金（Au）膜を積層してなるAu/W電極が挙げられる。

## 【0082】

次に、本実施の形態に係る窒化物系半導体レーザ素子の製造方法について説明する。

まず、（0001）C面を結晶成長用面とするn型GaNからなる基板101を洗浄する（洗浄工程）。洗浄したGaN基板101をMOCVD装置内に導入し、H<sub>2</sub>雰囲気の中で、約1100℃の高温でクリーニングを行う（清浄化工程）。

## 【0083】

次に、約1050℃まで降温する。TMG（トリメチルガリウム）を100  $\mu$ mol/min、SiH<sub>4</sub>（モノシラン）を10nmol/min導入して、下地層101としてn型GaN層を成長させる（下地層形成工程）。

## 【0084】

下地層形成工程の完了後、TMGの流量を50  $\mu$ mol/minに調整し、TMA（トリメチルアルミニウム）を一定量導入して、SiH<sub>4</sub>を10nmol/min流しながら、下部クラッド層103としてn型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N（例えばx=0.06）層を成長させる（下部クラッド層形成工程）。

## 【0085】

下部クラッド層形成工程完了後、TMAの供給を停止し、かつTMGを100  $\mu$ mol/minに調整して、下部光導波層104としてn型GaN層を成長させる（下部光導波層形成工程）。

## 【0086】

下部光導波層形成工程の完了後、TMGの供給を停止して、キャリアガスを水

素ガス ( $\text{H}_2$ ガス) から窒素ガス ( $\text{N}_2$ ガス) に代えて、 $700^\circ\text{C}$ まで降温し、インジウム原料であるトリメチルインジウム (TMI) を一定量、TMGを  $15\mu\text{mol}/\text{min}$  導入し、活性層 105 を構成する障壁層として n 型  $\text{In}_v\text{Ga}_{1-v}\text{N}$  (例えば、 $v=0.005$ ) 層を成長させる (障壁層形成工程)。次に、 $\text{SiH}_4$  の供給を停止し、かつ TMI の供給をある一定量にまで増加して、活性層 105 の量子井戸層として  $\text{In}_w\text{Ga}_{1-w}\text{N}$  (例えば、 $w=0.09$ ) 層を成長させる (量子井戸層形成工程)。成長時に導入する TMI の流量は、その設計値に等しい In 組成の膜が得られるように調節する。障壁層形成工程と量子井戸層形成工程とを繰り返して所望の多重量子井戸構造を有する活性層 105 を形成する (活性層形成工程)。

#### 【0087】

活性層形成工程の完了後、TMI、TMG 及び  $\text{SiH}_4$  の供給を停止して、 $1050^\circ\text{C}$ まで昇温し、キャリアガスを  $\text{N}_2$ ガスから  $\text{H}_2$ ガスに代えて、TMGを  $50\mu\text{mol}/\text{min}$ 、TMAを適量、p 型不純物の原料であるビスシクロペンタジエニルマグネシウム ( $\text{Cp}_2\text{Mg}$ ) を  $10\text{nm}\cdot\text{ol}/\text{min}$  導入し、キャリアブロック層 106 として p 型  $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$  (例えば、 $z=0.3$ ) 層を成長させる (キャリアブロック層形成工程)。

#### 【0088】

キャリアブロック層形成工程の完了後、TMA の供給を停止し、TMG の供給量を  $100\mu\text{mol}/\text{min}$  に調整して、上部光導波層 107 として p 型  $\text{Ga}\text{N}$  層を成長させる (上部光導波層形成工程)。

#### 【0089】

上部光導波層形成工程の完了後、TMG の供給を  $50\mu\text{mol}/\text{min}$  に調整し、かつ TMA を一定量導入して、上部クラッド層 108 として p 型  $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  (例えば、 $y=0.06$ ) 層を成長させる (上部クラッド層形成工程)。

#### 【0090】

上部クラッド層形成工程の完了後、TMG の供給を  $100\mu\text{mol}/\text{min}$  に調整して、かつ TMA の供給を停止して、コンタクト層 109 として p 型  $\text{Ga}\text{N}$  層を成長させる (コンタクト層形成工程)。



**【0091】**

コンタクト層形成工程の完了後、TMG及びCp<sub>2</sub>Mgの供給を停止し、かつ室温まで降温して各種の半導体層の形成された基板をMOCVD装置から取り出す。引き続き、フォトリソグラフィー技術及び反応性イオンエッチング技術を用い、中央領域に所定のストライプ幅のリッジストライプ構造を形成するように、中央領域の両側の側部領域下に積層されている半導体層を所定の深さまでエッチングする（リッジストライプ形成工程）。このとき、側部領域下においては、コンタクト層109及び上部クラッド層108は完全にエッチングされ、上部光導波層107は適切な厚さまでエッチングされる。適切な厚さ（エッチング残し膜厚）は、下部クラッド層103の屈折率を基本次水平横モードに対する等価屈折率と1次水平横モードに対する等価屈折率の間にする設計によって決定される値である。

**【0092】**

リッジストライプ形成工程の完了後、埋め込み層110を形成することとなる埋め込み膜を成膜した後、フォトリソグラフィー技術を用いて、コンタクト層109の上面を露出させる（埋め込み層形成工程）。

**【0093】**

埋め込み層形成工程の完了後、コンタクト層109の略全面上にp型用の電極（正電極）112を形成する（第2導電型用電極形成工程）。また、基板101の下面（裏面）の略全面にn型用の電極（負電極）111を形成する（第1導電型用電極形成工程）。なお、n型用電極形成工程は、p型用電極形成工程に先立って行ってもよいし、下地層形成工程前に行ってもよい。

**【0094】**

第2導電型用電極形成工程及び第1導電型用電極形成工程の完了後、各半導体層の積層された基板101を劈開して、共振器ミラーとなる2つの共振器端面（図示せず）を形成する（共振器端面形成工程）。

**【0095】**

最後に、2つの共振器端面のうちレーザ光を射出する側でない端面に、約95%の高反射コーティングを施して、高反射膜（図示せず）を形成する（高反射膜

形成工程)。上述の各工程を経て、図1に示された窒化物系半導体レーザ素子が完成する。

#### 【0096】

本実施の形態に係る窒化物系半導体レーザ素子は、上記本発明の第1の態様、第2の態様、第3の態様における特徴を全て満たす構成であり、本願の目的が良好に達成される。更に、基板の屈折率が基本次水平横モードの等価屈折率以上である条件も満たしている。

#### 【0097】

(実施の形態2)

図5は、本発明に係る窒化物系半導体レーザ素子の実施の形態1と異なる構造例を表す模式的な断面図であり、半導体レーザの導波路部分の共振器方向に垂直な断面を表している。本窒化物系半導体レーザ素子は、下部クラッド層が、基板側から第1下部クラッド層第2下部クラッド層及び第3下部クラッド層からなる3層積層構造を有していること以外は、実施の形態1に係る窒化物系半導体レーザ素子と同じ構造である。

#### 【0098】

本実施の形態に係る窒化物系半導体レーザ素子は、n型GaNからなる基板501(好ましくは、膜厚30～500 $\mu$ m)と、n型GaNからなる下地層502(好ましくは、0.1～10 $\mu$ m)と、n型Al<sub>x1</sub>Ga<sub>1-x1</sub>N(0.04≤x<sub>1</sub><x<sub>2</sub>≤0.15)からなる第1下部クラッド層513(好ましくは、膜厚0.8 $\mu$ m以上)と、n型Al<sub>x2</sub>Ga<sub>1-x2</sub>N(0.04≤x<sub>1</sub><x<sub>2</sub>≤0.15)からなる第2下部クラッド層523(層厚0.05 $\mu$ m以上0.3 $\mu$ m以下)と、n型Al<sub>x3</sub>Ga<sub>1-x3</sub>N(0.04≤x<sub>3</sub><x<sub>2</sub>≤0.15)からなる第3下部クラッド層533(好ましくは、層厚0.01 $\mu$ m以上0.3 $\mu$ m以下)と、n型GaNからなる下部光導波層504(好ましくは、膜厚0～0.15 $\mu$ m)、In<sub>w</sub>Ga<sub>1-w</sub>N(0<w≤0.2)からなる量子井戸層及びn型In<sub>v</sub>Ga<sub>1-v</sub>N(0≤v<w)からなる障壁層を交互に積層させた多重量子井戸構造の活性層505(好ましくは、総膜厚5～100nm)、p型Al<sub>z</sub>Ga<sub>1-z</sub>Nからなるキャリアブロック層506(好ましくは、膜厚0～0.1 $\mu$ m)、中央部にその他

の部分より上方に突出したストライプ状の突出部を有し p 型 GaN からなる上部光導波層 507 (好ましくは、中央部の膜厚  $0.05 \sim 0.15 \mu\text{m}$ )、上部光導波層 507 の突出部上に形成された p 型  $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  (好ましくは、 $0.04 \leq y \leq 0.15$ ) からなる上部クラッド層 508 (好ましくは、膜厚が  $0.4 \mu\text{m}$  以上)、上部クラッド層 508 上に形成された p 型 GaN からなるコンタクト層 509 (好ましくは、膜厚が  $0.01 \sim 1.0 \mu\text{m}$ ) と、上部光導波層 507 の突出部、上部クラッド層 508 及びコンタクト層 509 で構成されるリッジストライプ構造の両側に設けられた埋め込み層 510 と、正電極 512 と、負電極 511 とを備える。

#### 【0099】

本窒化物系半導体レーザ素子において、第2下部クラッド層 523 は、第1下部クラッド層 513 及び第3下部クラッド層 533 より Al 含有率の高い半導体で構成されている。すなわち、第2下部クラッド層 523 の屈折率は、第1下部クラッド層 513 の屈折率及び第3下部クラッド層 533 の屈折率より低い構成である。また、第2下部クラッド層 523 は、上部光導波層 507 と  $0.01 \mu\text{m}$  以上  $0.03 \mu\text{m}$  以下の距離を隔てて形成されていることになる。

#### 【0100】

本実施の形態に係る窒化物系半導体レーザ素子の構造について、本発明の効果及び作用を説明する。なお、実施の形態1に記載した構造についても本実施の形態と程度の差はあるものの同質の作用及び同質の効果を奏する。

#### 【0101】

図2は、エッチング残し膜厚と、基本水平横モード及び1次水平横モードそれぞれに対する基板 501 側 (下部クラッド層側) への染み出しによる放射損失をプロットしたものである。曲線 201 及び曲線 202 は、それぞれ、基本水平横モード及び1次水平横モードに対応する特性曲線である。ここで、本明細書においては、エッチング残し膜厚とは、水平方向光閉じ込めリッジストライプ構造体の形成後にエッチングにより露出されたエッチング露出底面と、キャリアブロック層の上面との距離を意味するものとする。

#### 【0102】

エッチング残し膜厚が上部光導波層 107 の中央部（ストライプ領域内）の厚さより小さくなると、1 次水平横モードに対する下部クラッド層側への染み出しによる放射損失が双曲線関数的に急激に大きくなる傾向を図 2 は示している。

#### 【0103】

図 3 は、下部クラッド層の屈折率と、基本次水平横モード及び 1 次水平横モードのそれぞれに対する下部クラッド層側への染み出しによる放射損失をプロットしたグラフ図である。曲線 301、曲線 302 は、それぞれ、基本次水平横モード及び 1 次水平横モードに対応する特性曲線である。

#### 【0104】

下部クラッド層の屈折率がある程度小さくなると、1 次水平横モードの下部クラッド層側への染み出しによる放射損失が、双曲線関数的に、急激に大きくなる傾向を示している。

#### 【0105】

ここに、積層構造を有する下部クラッド層の屈折率は、各層の屈折率に各層の層厚で重みを付けた加重平均であることに注意を要する。

#### 【0106】

図 2 及び図 3 のような傾向を示す原因について、以下に述べる。

図 6 は、図 5 に示された実施の形態 2 に係る窒化物半導体レーザ素子の模式的な断面図に基づいて、屈折率が異なる境界線を簡略化して示したものである。図 7 及び図 8 は、実施の形態 2 に係る窒化物系半導体レーザ素子における、基本次水平横モード及び 1 次水平横モードの光強度分布を等高線表示したものであって、共振器方向に垂直な断面における光強度の対数値を表わしている。なお、図 7 及び図 8 は、図 6 に示された屈折率分布における横モード光強度分布を計算したものである。

#### 【0107】

図 7 及び図 8 を得るための計算手法として、有限差分法によるビーム伝搬法（Finite Difference Beam Propagation Method、FD-BPM）を用いた。初期値として適切な光強度分布を図 6 に示された構造に入射させ、数百  $\mu\text{m}$ （本明細書における計算においては 300  $\mu\text{m}$  とした）伝搬させた後の光強度分布を求め

ると、図6に示された計算構造における水平横モード成分のみが選択的に伝播し、他の成分は計算構造外に伝搬し、数百 $\mu\text{m}$ 伝搬する間に無視できる強度にまで減少してしまう。初期値の光強度分布として、図6に示された計算構造における基本次水平横モード又は1次水平横モードの光強度分布に近いものを用いれば、所望の次数に対する水平横モードの光強度分布を得ることができる。以上の手続きにより、図7及び図8に示された光強度分布が求められている。

#### 【0108】

図7に示された基本次水平横モードの光強度分布を見ると、図6に示された活性層付近に光強度分布のピークが位置しており、活性層105から遠ざかるにつれて光強度が指数関数的に減少していることがわかる。つまり、基本次水平横モードで発光した光はレーザ素子構造内に閉じ込められていることがわかる。これに対し、図8に示された1次水平横モードの光強度分布を見ると、図6に示された活性層105から下地層102のある方向に、1次水平横モードで発光した光が放射されていることがわかる。すなわち、実施の形態2に係る窒化物系半導体レーザ素子においては、基本次水平横モードに比べ、1次水平横モードの方が、顕著に、n型GaNからなる下地層102の方向へ光が放射されている。

#### 【0109】

図4は、エッチング残し膜厚に対する基本次水平横モードの等価屈折率及び1次水平横モードの等価屈折率の変化を、それぞれ、プロットしたものである。曲線401及び曲線402は、それぞれ、基本次水平横モード及び1次水平横モードに対応する特性曲線である。図4における実線403は上部光導波層及び下部光導波層の屈折率の全層厚に渡る平均値（層厚で重みを付けた加重平均）を、実線404は下部クラッド層の屈折率の全層厚に渡る平均値（層厚で重みを付けた加重平均）を、それぞれ、等価屈折率の値としてプロットした直線である。

#### 【0110】

ここで、各モードの等価屈折率は、水平横モード計算から求まる値を用いている。水平横モード計算に用いたストライプ領域外の局所的等価屈折率の値 $N_{\text{out}}$ は、従来のAlGaAs系半導体レーザ素子においては、ストライプ内の局所的等価屈折率 $N_{\text{in}}$ を求める方法と同様に、ストライプ領域外の垂直方向の屈折率

分布を有し、水平方向はこれと同じ屈折率分布を有する仮想的なスラブ導波路を仮定した通常の電界分布計算により求まる等価屈折率である。また、従来の窒化物系半導体レーザ素子においても、エッチング残し膜厚が上部光導波層の層厚以上の値に設定されている場合は、この方法が十分適用できる。

#### 【0111】

しかし、本発明の窒化物系半導体レーザ素子において、エッチング残し膜厚が上部光導波層の層厚以下の値に設定（ストライプ領域外の上部クラッド層をエッチングにより完全に除去した場合）されると、ストライプ領域外における垂直方向の屈折率分布の上下非対称性が顕著な状態で、光の閉じ込められる領域（ここでは上部光導波層の上面から下部光導波層の下面までの領域を意味する）に、仮想的なスラブ導波路を仮定して通常の電界分布計算を行っても、導波モードが存在しないために、 $N_{out}$ を求めることができない。したがって、ストライプ領域外の上部クラッド層をエッチングにより完全に除去した構成の半導体レーザ素子の場合、ストライプ外の局所的等価屈折率は、以下の数式6により求まる値 $N_{out}$ とする。なお、数式6における積分記号の積分範囲は、 $-\infty < x < +\infty$ である。

#### 【数6】

$$N_{out}^2 = N_{in}^2 + \int \{n_{out}(x)^2 - n_{in}(x)^2\} \cdot P(x) \cdot dx$$

#### 【0112】

ここで、半導体レーザ素子の垂直方向を $x$ 軸にとり、 $N_{in}$ はストライプ領域内の局所的等価屈折率とし、 $n_{in}(x)$ はストライプ領域内における垂直方向の屈折率分布とし、 $n_{out}(x)$ はストライプ領域外における垂直方向の屈折率分布とし、 $P(x)$ はストライプ領域内の局所的等価屈折率を計算する際に求まる下記数式7を満たすように規格化された垂直方向の電界強度分布とする。なお、数式7における積分記号の積分範囲は、 $-\infty < x < +\infty$ である。

#### 【数7】

$$\int P(x) dx = 1$$

#### 【0113】

なお、この方法で、従来の窒化物系半導体レーザ素子について計算を行っても、この計算で求まる水平横モードの等価屈折率及び光強度分布は従来の手法による結果とほとんど変わらない。

#### 【0114】

基本水平横モード及び1次水平横モードは、上部光導波層及び下部光導波層を導波しているから、基本水平横モードに対する等価屈折率401及び1次水平横モードに対する等価屈折率402が、直線403より上にくることはない。

#### 【0115】

エッチング残し膜厚が小さくなってくると、低屈折率層である埋め込み層と、レーザ光の閉じ込め領域との距離が縮まるため、モードの等価屈折率は、ストライプ領域外の屈折率分布の影響を受けて低下する。そして、下部クラッド層の屈折率を下回るようになると、光は垂直方向にはもはや閉じ込められなくなり、下部クラッド層側への放射が顕著となる。1次水平横モードに対する等価屈折率の方が基本水平横モードに対する等価屈折率よりも必ず小さいため、エッチング残し膜厚が小さくなってゆくと、1次水平横モードに対する等価屈折率のみが下部クラッド層の屈折率を下回っており、基本水平横モードに対する等価屈折率は下部クラッド層の屈折率を上回っているという状態が実現する。この状態にあるとき、n型クラッド層側への染み出しによる放射損失が、1次横モードに対しては大きくなり、基本水平横モードに対しては低く維持されたままという選択放射状態が実現する。

#### 【0116】

更に、エッチング残し膜厚が選択放射状態を実現するためのエッチング残し膜厚の許容範囲は、下部クラッド層の屈折率を上部光導波層及び下部光導波層の屈折率に近づけるほど、すなわち、下部クラッド層の構成材料であるAlGaNのAl混晶比を小さくするほど、広くなることになる。

#### 【0117】

しかし、下部クラッド層の屈折率が大きくなりすぎると、基本水平横モードの下部クラッド層側への放射損失が大きくなりすぎて良好な選択放射状態とならない。また、下部クラッド層の屈折率と上部光導波層及び下部光導波層の屈折率

との差が小さくなりすぎると、基本次水平横モードの垂直方向の光閉じ込めが弱くなりすぎて良好な選択放射状態とならない。したがって、その最適範囲内に設定することが望ましい。

また、本実施の形態においては、基板として n 型 GaN からなる基板を用いたが、基板の屈折率が基本次水平横モードに対する等価屈折率以上になっていれば、他の材料からなる基板でもよく、例えば、SiC 基板を用いることもができる。

#### 【0118】

上述のように、本発明の窒化物系半導体レーザ素子では、下部クラッド層の屈折率の変化やエッチング残し膜厚の変化に対する水平横モードの伝搬損失が、縦軸に漸近する双曲線関数のように急激に変化し、かつ基本次水平横モードの伝搬損失と 1 次水平横モードの伝搬損失に対する双曲線関数の漸近線がずれているために、基本次横モードの伝搬損失が  $2\text{ cm}^{-1}$  以下と低く、かつ 1 次横モードの伝搬損失が基本次横モードのそれより  $10\text{ cm}^{-1}$  以上大きな選択放射状態を実現できる。

#### 【0119】

なお、上記においては、下部クラッド層側（基板側）への放射損失について説明したが、上部クラッド層側に対する放射損失についても同様の傾向を示すことに注意を要する。

#### 【0120】

更に、本発明の窒化物系半導体レーザ素子においては、従来の窒化物系半導体レーザ素子に比べて、下部クラッド層の屈折率（Al 混晶比が低く）設定されるため、基本次水平横モードの光強度分布が下部クラッド層側に広がり、出射光の FFP における垂直方向の半値全角が狭くなる傾向を有する。更に、本発明の窒化物系半導体レーザ素子においては、従来の窒化物系半導体レーザ素子に比べて、エッチング残し膜厚が上部光導波層の層厚以下と薄めに設定されているため、基本次水平横モードの光強度分布が水平方向に広がるため、射出光の FFP における水平方向の半値全角が広くなる傾向がある。すなわち、本発明の窒化物系半導体レーザ素子は、従来の窒化物系半導体レーザ素子に比べ、FFP の楕円率が



小さくなるという効果を奏する。これは、窒化物系半導体レーザ素子を、光学式情報記録再生装置に搭載した際、成形プリズム無しで、集光スポット形状が円形に近くなるため、クロストークを減少させることができるという効果を奏する。

#### 【0121】

実施の形態1に係る窒化物系半導体素子では、n型クラッド層のAl混晶比を低くすると、基本横モードの光強度分布が下部クラッド層側に広がるため、基本横モードの垂直方向の光閉じ込めが小さくなる。これは閾値電流密度を上昇させ、半導体レーザの動作電力を上昇させることとなる。しかし、本実施の形態に係る窒化物系半導体レーザ素子では、この問題を解消している。即ち、n型クラッド層中に、n型クラッド層よりも屈折率の低い、即ちAl混晶比の高い層504が、n型ガイド層と0.01  $\mu\text{m}$ 以上0.03  $\mu\text{m}$ 以下の距離を隔てて形成されていることにより、n型クラッド層側への放射を保ちつつ、またFFPの垂直方向半値幅の増大を最小限に抑え、即ち本発明の効果を保ちつつ、垂直方向の光閉じ込め係数を増加させる効果がある。つまり、本実施の形態に係る窒化物系半導体レーザ素子は、実施の形態1に係る窒化物系半導体レーザ素子に比べて、高性能な素子となる。

#### 【0122】

本実施の形態に係る窒化物系半導体レーザ素子は、上述の本発明の第1の態様、第2の態様、第3の態様における特徴を全て満たす構成であり、本願の目的が良好に達成される。更に、基板の屈折率が基本横モードの等価屈折率以上である条件も満たしている。

#### 【0123】

本実施の形態に係る窒化物系半導体レーザ素子を100個作製したところ、90個は平均3.0  $\text{kA}/\text{cm}^2$ の低閾値電流密度で室温(25℃)連続発振した。作製した窒化物半導体レーザのうち80個はスロップ効率1.4  $\text{W}/\text{A}$ のI-L特性を示し、100  $\text{mW}$ まで基本横モード発振を維持した。また、100  $\text{mW}$ における動作電圧は4.5  $\text{V}$ で、発振波長は405  $\text{nm}$ 、垂直及び水平FFPの半値幅はそれぞれ16.2度、9.9度で、楕円率1.6を実現した。

#### 【0124】

## (実施の形態3)

本実施の形態に係る窒化物系半導体レーザ素子は、図1に示された窒化物半導体レーザ素子と同じ構造であるが、上部クラッド層のAl混晶比が下部クラッド層のAl混晶比よりも大きい構成、つまり、上部クラッド層の屈折率が下部クラッド層の屈折率よりも小さい構成である。例えば、下部クラッド層がn型Al<sub>0.06</sub>Ga<sub>0.94</sub>Nからなり、クラッド層がp型Al<sub>0.10</sub>Ga<sub>0.90</sub>Nからなる構成である。

## 【0125】

本実施の形態に係る窒化物系半導体レーザ素子の製造方法は、クラッド層とn型クラッド層とのAl混晶比を非対称とした他は、実施の形態1に係る窒化物半導体レーザ素子の製造方法と同等であるため、省略する。

## 【0126】

上部クラッド層の屈折率より下部クラッド層の屈折率が小さいことにより、レーザ発振モードの光分布全体を、下部クラッド層側へ寄せることができる。これにより、基本次水平横モードの下部クラッド層側への放射損失と1次水平横モードの下部クラッド層側への放射損失との差をより大きくさせることができる。すなわち、高出力まで基本次水平横モードを維持した半導体レーザ素子を歩留り良く作製できる。また、レーザ光の楕円率を1に近づけることができる。

## 【0127】

なお、本実施の形態においては、上部クラッド層と下部クラッド層のAl混晶比を非対称としたが、クラッド層側への放射損失を助長する方向に、垂直構造の屈折率分布を非対称とした構造であれば、本実施の形態と同様の効果を奏する。すなわち、上部光導波層より下部光導波層の層厚を薄くした構成や、上部光導波層より下部光導波層の屈折率を高くした構成等であっても、本実施の形態に係る窒化物半導体レーザと同様の効果を奏する。

## 【0128】

本実施の形態に係る窒化物系半導体レーザ素子は、実施の形態1に係る窒化物系半導体レーザ素子の構造をベースにしたものであるが、実施の形態2に係る窒化物系半導体レーザ素子の構造をベースにしたものでもよく、その際に奏する効

果は上記と同様である。

#### 【0129】

(実施の形態4)

本実施の形態は、図5に示された実施の形態2の窒化物半導体レーザ素子の構造に、更に、下部クラッド層側に、下部光導波層と距離を隔てて、吸収層を設けた構成である。本実施の形態においては、基本次水平横モードに比べて1次水平横モードの方が光電界分布（光強度分布）が吸収層にかかる割合が大きいため、吸収層での光吸収による伝搬損失が、前者に比べ後者の方が大きくなる。

#### 【0130】

したがって、基本次水平横モードに対する下部クラッド層側への放射損失と1次水平横モードに対する下部クラッド層側への放射損失の差に、光吸収による伝搬損失のモード依存性による伝搬損失差が加わるため、モードに依存した損失の差を大きくとることができる。したがって、高出力まで基本次横モードを維持させるための、エッチング残し膜厚の許容範囲を広くとることができるようになる。

#### 【0131】

吸収層の位置は、下部光導波層より基板側にあり、かつ吸収層と下部光導波層の距離が0より大きければ、上記の効果を奏する。吸収層と下部光導波層の距離が大きすぎると、吸収層にかかる基本次水平横モード及び1次横モードの光電界分布の割合が小さくなり、かつその割合の減少は1次水平横モードに対して大きくなる。つまり、光吸収による伝搬損失差は小さくなるため、本発明の効果も小さくなる。したがって、吸収層と下部光導波層との距離は、0.01～5.0 $\mu$ mが好ましい。より具体的には、吸収層は、第1下部クラッド層と第2下部クラッド層との間、第2クラッド層と第3クラッド層との間に設けることが好ましい。更に好ましくは、第2クラッド層と第3下部クラッド層との間に設けた構成である。

#### 【0132】

図9は、吸収層を有する窒化物系半導体レーザ素子の他の構造例を表す模式的な断面図である。図9に示された窒化物系半導体レーザ素子には、第2クラッド

層 9 2 3 と第 3 下部クラッド層 9 3 3 との間に吸収層 9 1 4 が設けられている。

#### 【0133】

吸収層の吸収係数は、少なくとも  $100\text{ cm}^{-1}$  以上あれば、上記効果を奏することとなる。吸収層は、例えば、強ドーパ層、コドーパ層、InGa<sub>x</sub>N<sub>1-x</sub>層を用いることができる。

#### 【0134】

なお、吸収層を別途設けた構成ばかりでなく、吸収係数が高くなる基板を用いれば、上記の効果を奏すると共にレーザ素子の構造がより簡素となる。本実施の形態に係る窒化物系半導体レーザ素子の構造は、実施の形態 2 をベースにしたものであるが、実施の形態 1 をベースにしたものでもよく、その際に奏する効果は上記と同様である。

#### 【0135】

(実施の形態 5)

本実施の形態に係る消去可能型の光学式情報記録再生装置は、本発明に係る窒化物系半導体レーザ素子を記録光用の光源として用いた構成である。光源以外の構成については公知の構成を用いた。図 10 は、本光学式情報記録再生装置での記録動作における記録用のレーザ光の伝搬経路、再生動作における再生用の光の伝搬経路及び消去動作における消去用の光の伝搬経路並びに光学系を説明するための模式図である。

#### 【0136】

本光学式情報記録再生装置は、本発明に係る窒化物系半導体レーザ素子 1001 と、射出制御手段（図示せず）と、コリメータレンズ 1002 と、ビームスプリッタ 1003 と、対物レンズ（集光手段）1004 と、光ディスク（光記録媒体）1005 と、照射位置制御手段（図示せず）と、光を検出する光検出系（光検出手段）1006 とを含む構成である。なお、図は簡単のため、本発明の特徴を説明するのに不要な部品（手段）は省略している。

#### 【0137】

本光学式情報記録再生装置においては、窒化物系半導体レーザ素子 5001 が、記録用の光源、再生用の光源及び消去用の光源を兼ねた構成である。また、射

出制御手段は、異なる出力の光を射出させることができ、再生動作の際には出力を記録用の光及び消去用の光の出力より低い出力で光を射出できる手段である。

#### 【0138】

記録動作時及び消去動作時は、窒化物系半導体レーザ装置から出射したレーザ光が、コリメータレンズで平行光もしくは平行に近い光に変換され、ビームスプリッタを経て、対物レンズにより光ディスクの情報記録面に集光される。光ディスクの情報記録面には、磁気変調もしくは屈折率変調によりビット情報が書き込まれる。再生動作時は、記録時及び消去時と同様の過程を経て半導体レーザ装置から出射したレーザ光が、凹凸もしくは磁気変調もしくは屈折率変調により記録されている光ディスクの情報記録面に集光されるが、集光されたレーザ光は、そこで反射され、対物レンズを通してビームスプリッタを透過し、光検出系に入射して、光学的に検出された信号を電気的信号に変換して記録情報の読み取りが行われる。

#### 【0139】

本発明の半導体レーザ素子を備えた光学式情報記録再生装置においては、記録動作時は、 $10^{-6}$ 以下の欠陥発生率が達成された。また、再生動作時には、ビット読み取りエラー率 $10^{-6}$ で、書き込まれた情報を読み出すことができた。

#### 【0140】

これに対して、本発明に該当しない従来の窒化物系半導体レーザ素子を備えた光学式情報記録再生装置においては、記録動作時の欠陥発生率、及び再生動作時のビット誤り率が、共に $10^{-3}$ のオーダーであった。この相違は、高出力まで基本水平横モードの発振を維持し、高出力までキंकのないI-L特性を有する半導体レーザ素子を本光学式記録再生装置に用いたことにより、光ディスク上に集光されたレーザ光の出力が高くかつ安定したからである。

#### 【0141】

また、本発明の半導体レーザ素子においては、FFPの楕円率が1に近いため、図17に示された従来の光学式情報記録再生装置と異なり、成形プリズム6007を必要としない。このため、本発明の光学式情報記録再生装置においては、

従来の光学式情報記録再生装置に比べて、部品点数を減らすことができるので、低コスト化・小型化を実現することができる。

#### 【0142】

##### 【発明の効果】

以上で説明したように、本発明に係る半導体レーザ素子の第1の態様では、基板と、下部クラッド層と、上部クラッド層と、活性層とを含み、リッジストライプ構造を有する構成において、下部クラッド層と上部クラッド層の少なくとも一方のクラッド層において、活性層で発生する基本次水平横モードの光に対する活性層と反対側の主面への放射損失と活性層で発生する1次水平横モードの光に対する活性層と反対側の主面への放射損失との放射損失差が $10\text{ cm}^{-1}$ 以上とすることによって、基本次水平横モードの光と比べて、1次水平横モードの光を優位に上記条件を満たすクラッド層側から放射することができる。

#### 【0143】

また、上記の課題を解決するために、本発明に係る半導体レーザ素子の第2の態様では、基板と、下部クラッド層と、上部クラッド層と、活性層とを含み、リッジストライプ構造を有する構成において、下部クラッド層及び上部クラッド層の少なくとも一方のクラッド層の屈折率を、活性層で発生する基本次水平横モードの光に対する等価屈折率未満であり、かつ活性層で発生する1次水平横モードの光に対する1次等価屈折率以上とすることによって、基本次水平横モードの光と比べて、1次水平横モードの光を優位に上記条件を満たすクラッド層側から放射することができる。

#### 【0144】

また、上記の課題を解決するために、本発明に係る半導体レーザ素子の第3の態様は、基板と、下部クラッド層と、上部クラッド層と、活性層とを含み、リッジストライプ構造を有する構成において、上部クラッド層を一部の活性層上に設けてリッジストライプ構造の少なくとも一部をなす構成としたことにより、基本次水平横モードの光と比べて、1次水平横モードの光を優位に下部クラッド層側から放射することができる。

#### 【0145】

本発明に係る半導体レーザ素子を光学式情報記録再生装置に搭載した場合、情報の記録及び／再生を高速かつ高精度で行うことができる。更に、成形プリズム無しで、集光スポット形状が円形に近くなるため、クロストークを減少させることができる。また、本発明に係る半導体レーザ素子を光学式情報記録再生装置に搭載した場合、情報の記録及び／再生を高記録密度、高速かつ高精度で行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

図 1 は、半導体レーザ素子の構造例を表わす模式的な断面図である。

【図 2】

図 2 は、エッチング残し膜厚と、基本次水平横モード及び 1 次水平横モードそれぞれに対する基板側への染み出しによる放射損失をプロットしたグラフ図である。

【図 3】

図 3 は、下部クラッド層の屈折率と、基本次水平横モード及び 1 次水平横モードのそれぞれに対する下部クラッド層側への染み出しによる放射損失をプロットしたグラフ図である。

【図 4】

図 4 は、エッチング残し膜厚に対する基本次水平横モードの等価屈折率及び 1 次水平横モードの等価屈折率の変化をプロットしたグラフ図である。

【図 5】

図 5 は、窒化物系半導体レーザ素子の他の構造例を表す模式的な断面図である。

【図 6】

図 6 は、実施の形態 2 の窒化物半導体レーザ素子に対して横モード光強度分布計算を行う際の計算構造を示した断面図である。

【図 7】

図 7 は、基本次水平横モードに対する光強度分布を計算した結果を示すグラフ図である。

**【図 8】**

図 8 は、基本次水平横モードに対する光強度分布を計算した結果を示すグラフ図である。

**【図 9】**

図 9 は、吸収層を備えた窒化物系半導体レーザ素子の他の構造例を表す模式的な断面図である。

**【図 10】**

図 10 は、本発明に係る本光学式情報記録再生装置での記録動作における記録用のレーザ光の伝搬経路、再生動作における再生用の光の伝搬経路及び消去動作における消去用の光の伝搬経路並びに光学系を説明するための模式図である。

**【図 11】**

図 11 は、従来型の典型的な半導体レーザ素子の構造を表わす模式的な断面図である。

**【図 12】**

図 12 は、従来型の典型的な半導体レーザ素子の構造を表わす概念的な断面図である。

**【図 13】**

図 13 は、従来の半導体レーザ素子における電流－光出力特性（ $I-L$  特性）を説明するための説明図である。

**【図 14】**

図 14 は、従来の窒化物系半導体レーザ素子の水平方向 FFP が光出力と共に変化する様子を説明するための説明図であり、図 14（a）が窒化物系半導体レーザ素子の水平方向 FFP の第 1 例を表わし、図 14（b）は、窒化物系半導体レーザ素子の水平方向 FFP の第 2 例を表わす。

**【図 15】**

図 15 は、従来の半導体レーザ素子における  $SiO_2$  層の層厚に対する埋め込み層の吸収による伝搬損失を基本次水平横モード及び 1 次水平横モードのそれぞれについてプロットしたグラフ図である。

**【図 16】**



図16は、従来の半導体レーザ素子におけるエッチング残し膜厚に対する埋込み層の吸収による伝搬損失を基本次水平横モードと1次水平横モードについてプロットしたグラフ図である。

【図17】

図17は、従来の典型的な光学式情報記録再生装置の基本構成を示す模式図である。

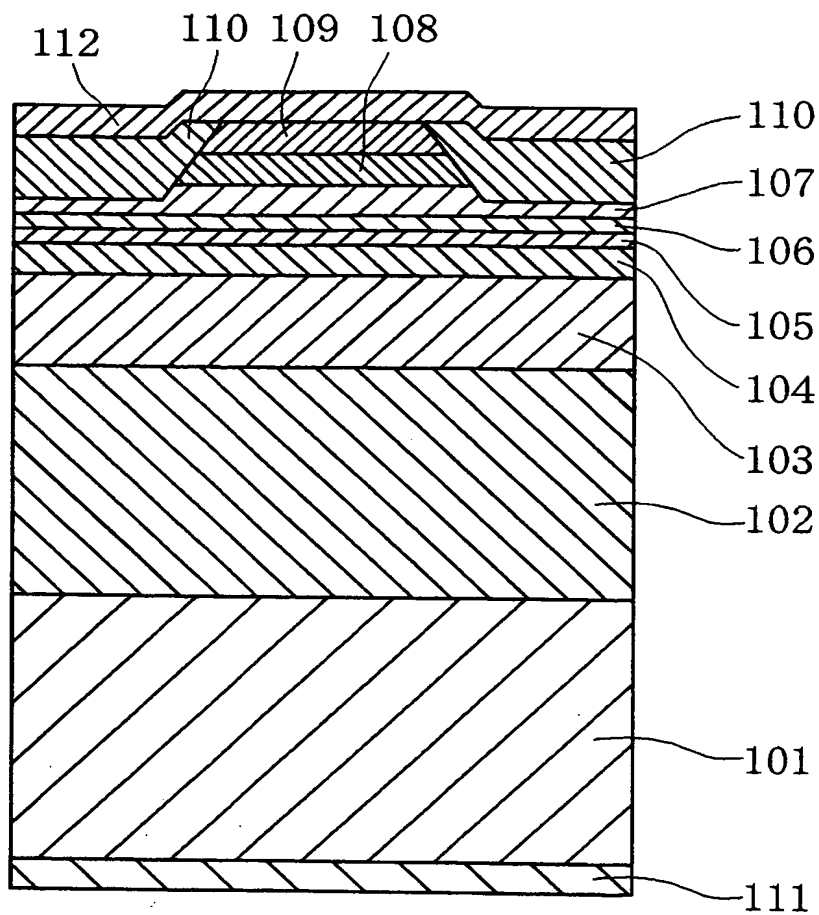
【符号の説明】

101、501、1101、1201 基板  
102、502、1102、1202 下地層  
103、1103、1203 下部クラッド層  
513 第1下部クラッド層  
523 第2下部クラッド層  
533 第3下部クラッド層  
104、504、1104、1204 下部光導波層  
105、505、1105、1205 活性層  
106、506、1106、1206 キャリアブロック層  
107、507、1107、1207 上部光導波層  
108、508、1108、1208 上部クラッド層  
109、509、1109、1209 コンタクト層  
110、510、1110、1210 埋め込み層  
111、511、1111、1211 第1導電型用の電極  
112、512、1112、1212 第2導電型用の電極  
914 光吸収層  
1001、1701 光源  
1002、1702 コリメータレンズ  
1003、1703 ビームスプリッタ  
1004、1704 対物レンズ  
1005、1705 光ディスク  
1006、1706 光検出系

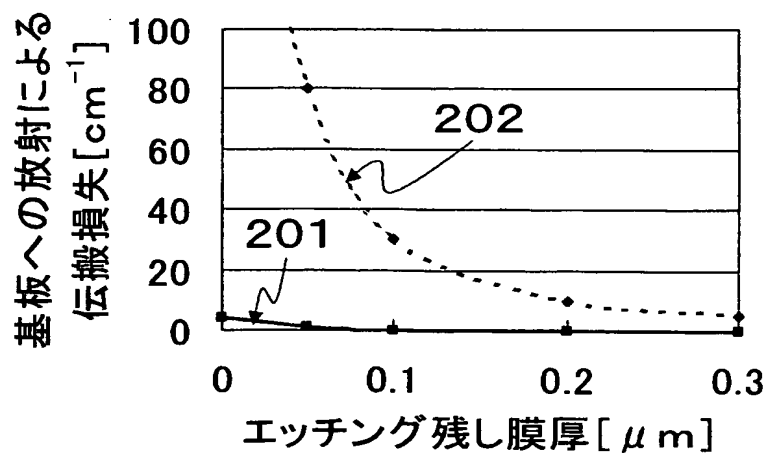
●  
1 7 0 7 成形プリズム

【書類名】 図面

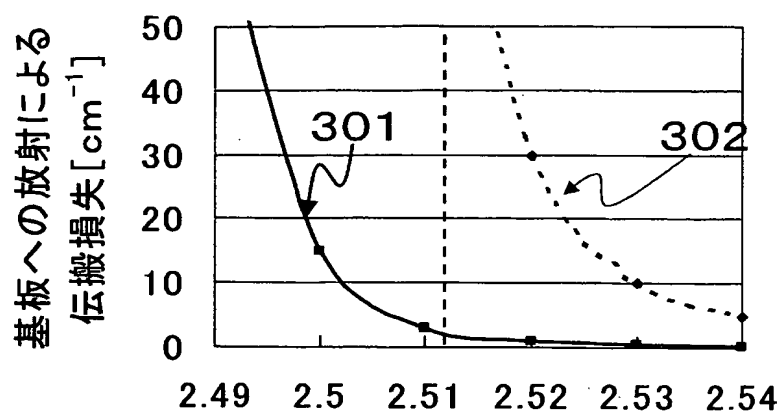
【図 1】



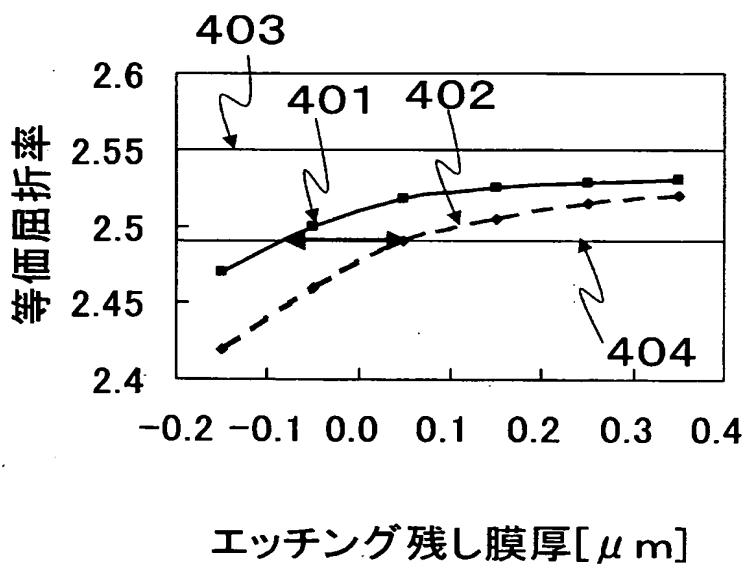
【図 2】



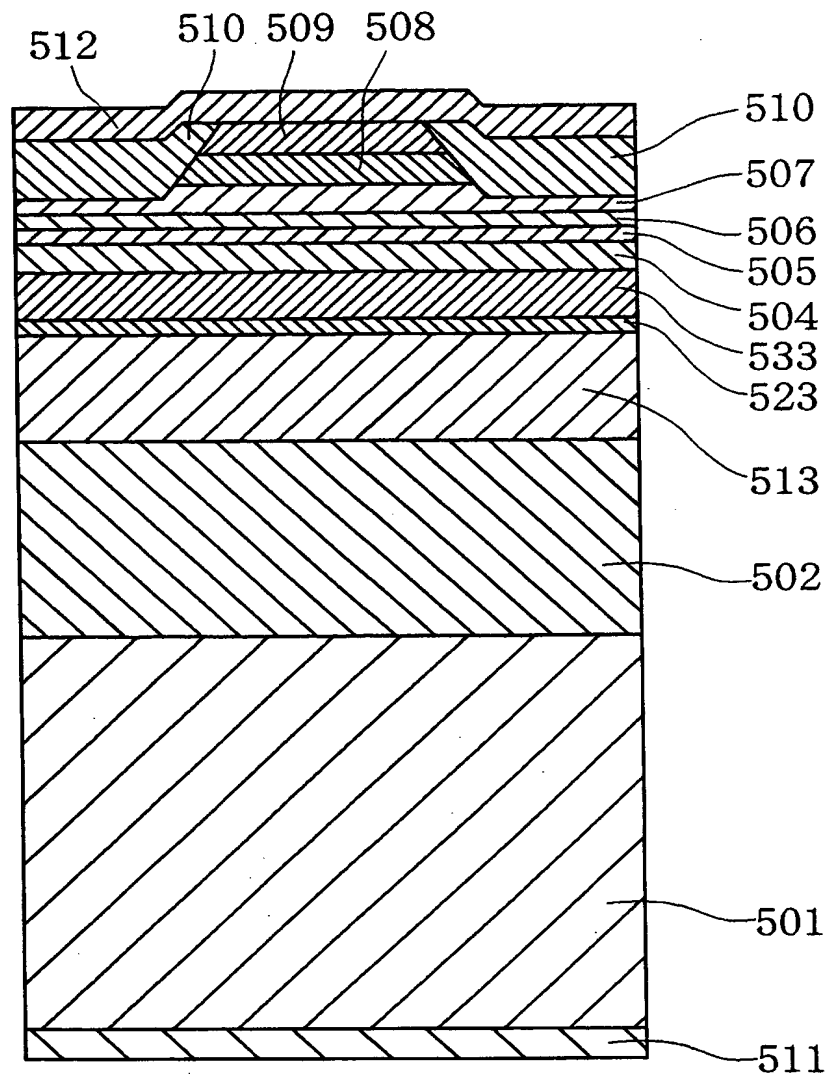
【図 3】



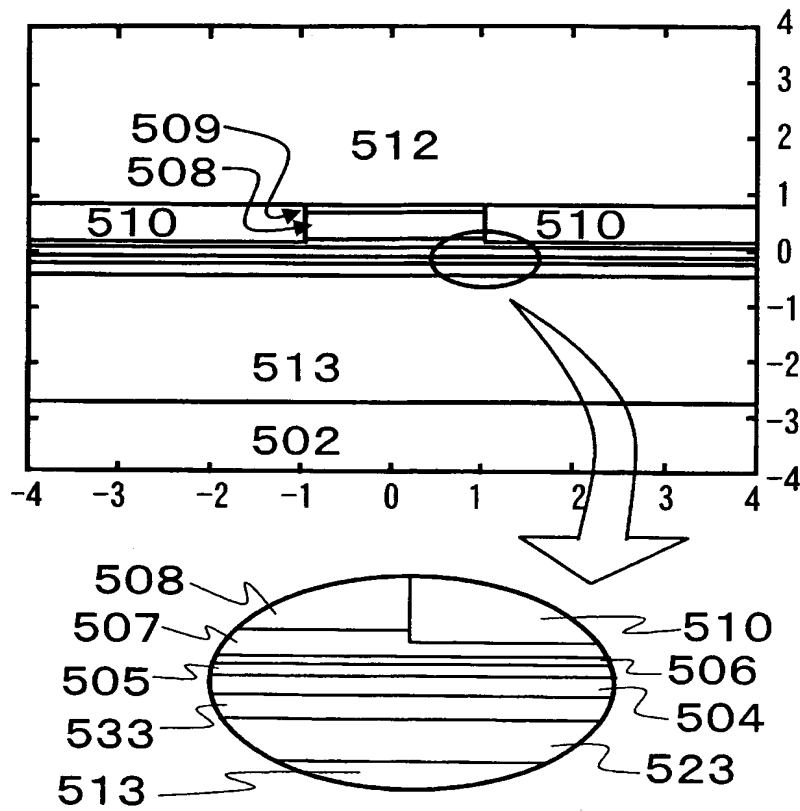
【図 4】



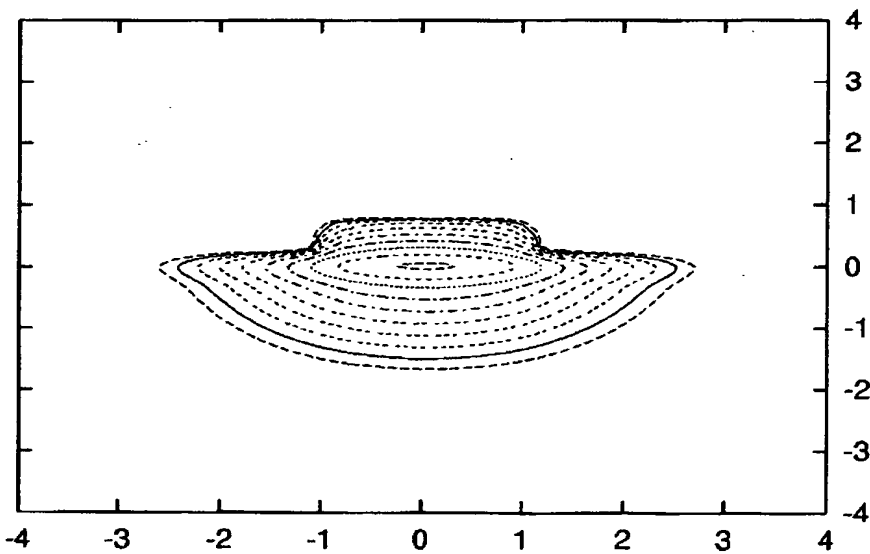
【図 5】



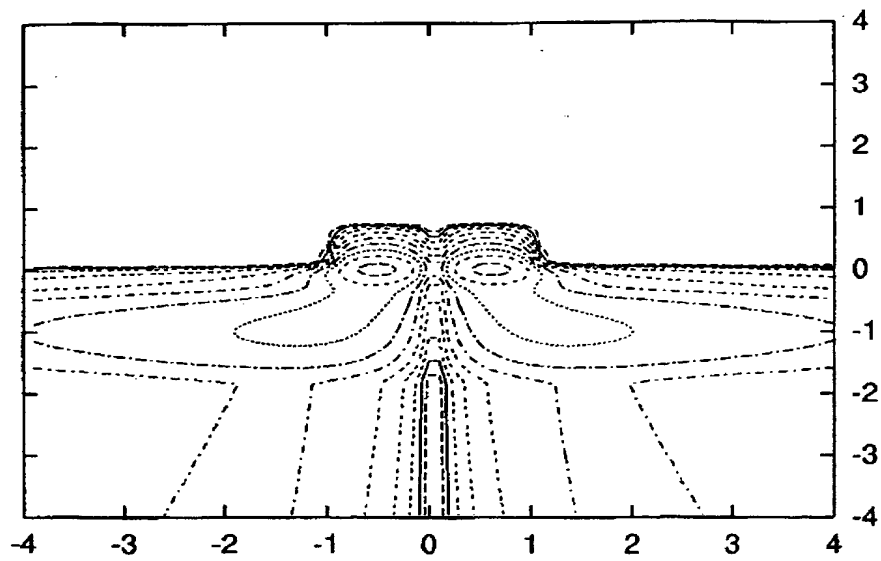
【図6】



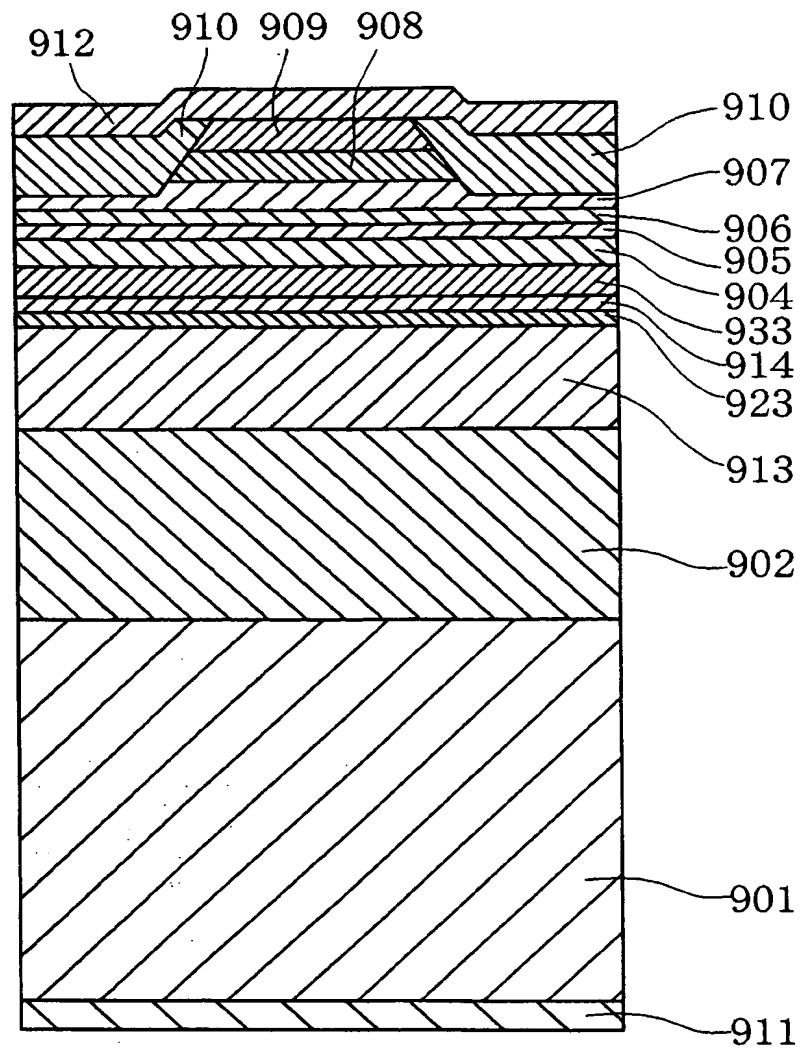
【図7】



【図 8】

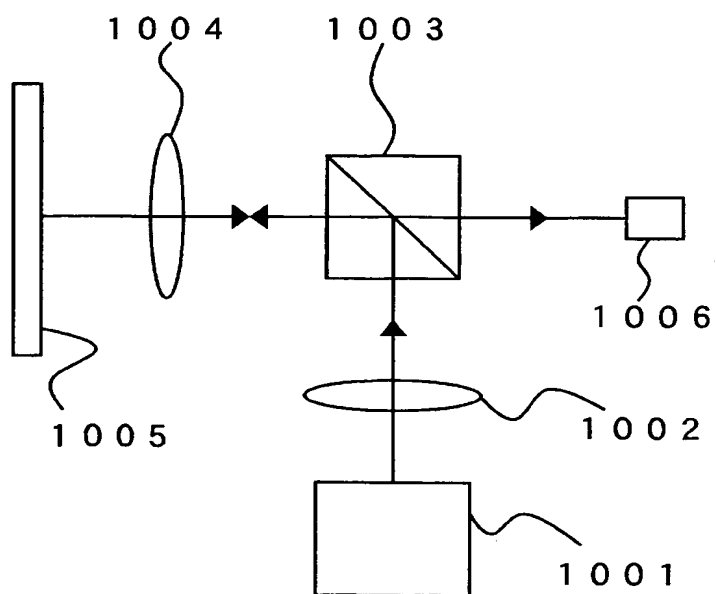


【図 9】

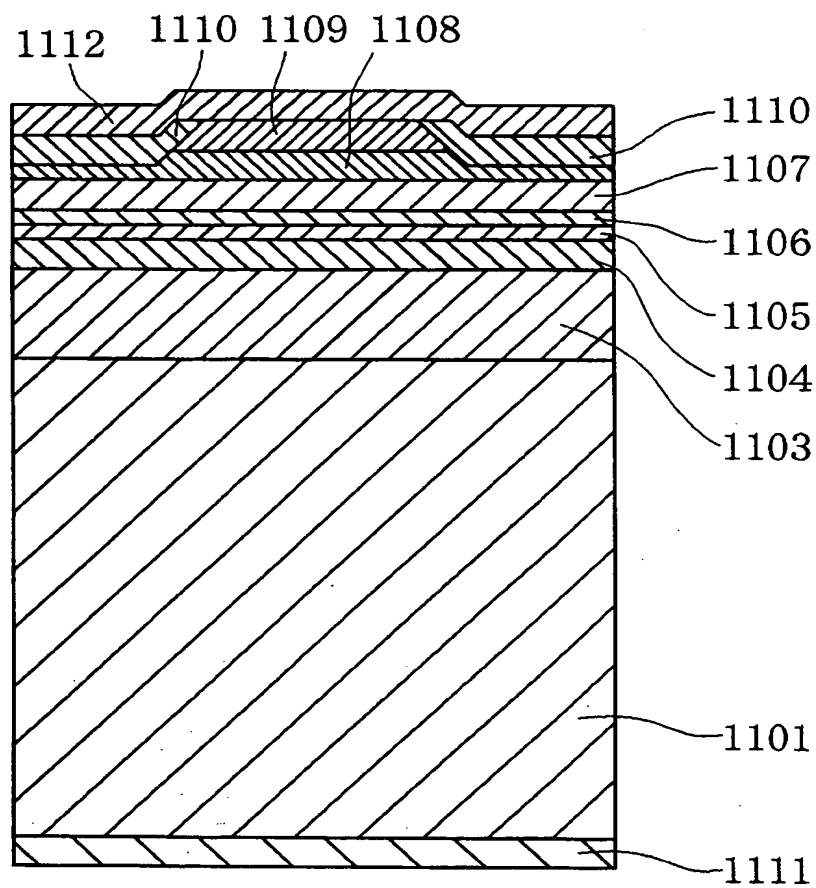




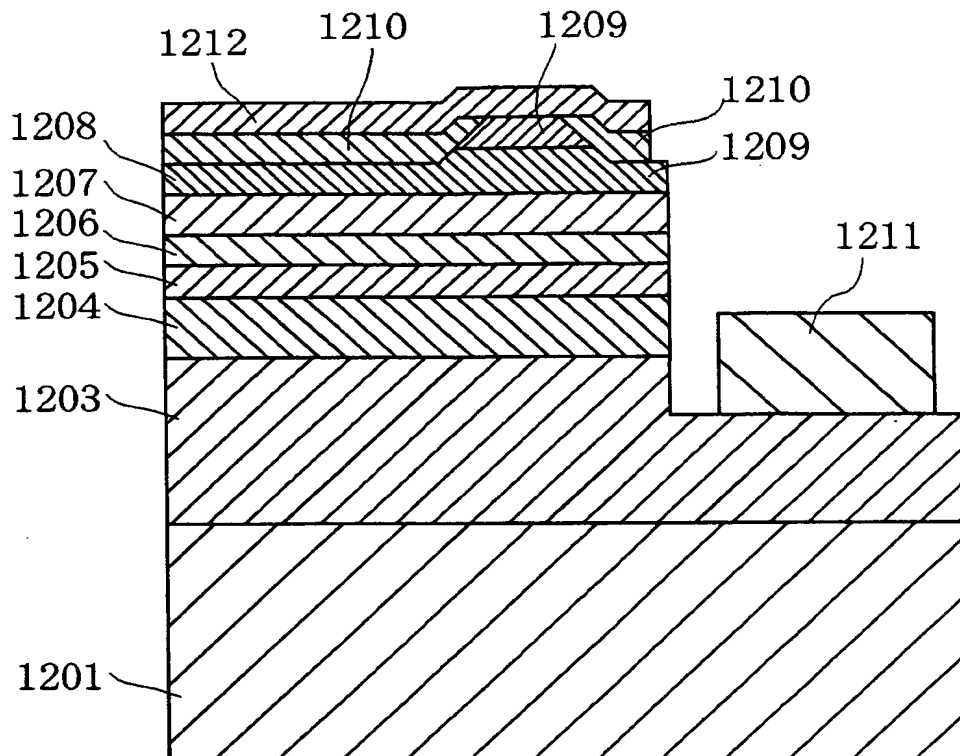
【図10】



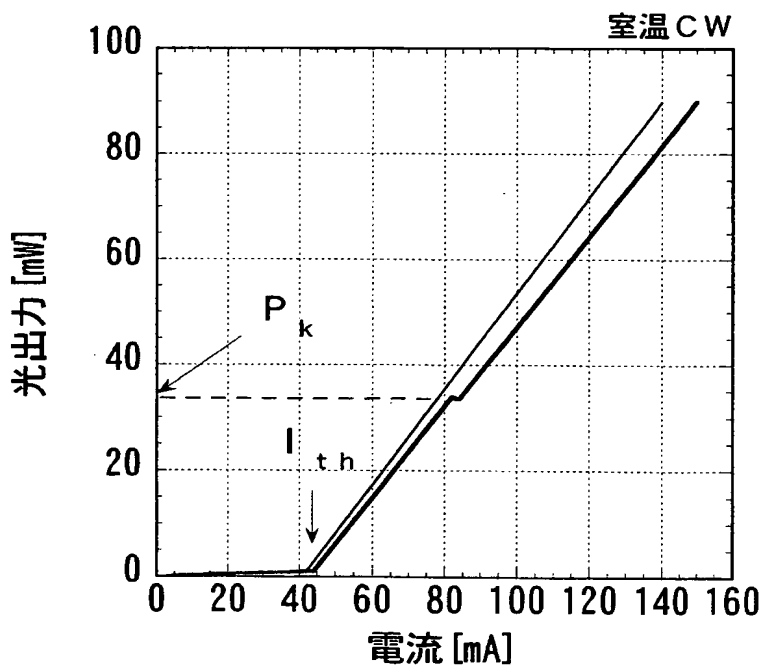
【図11】



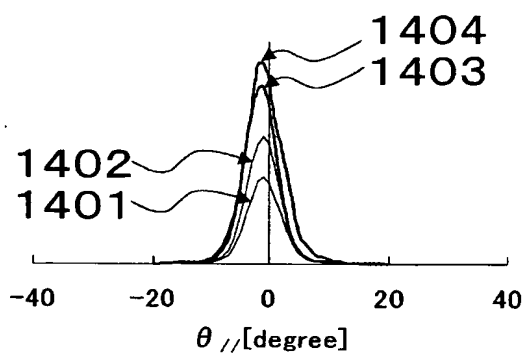
【図 12】



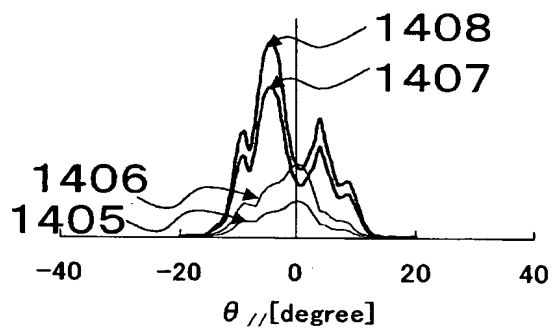
【図 13】



【図14】

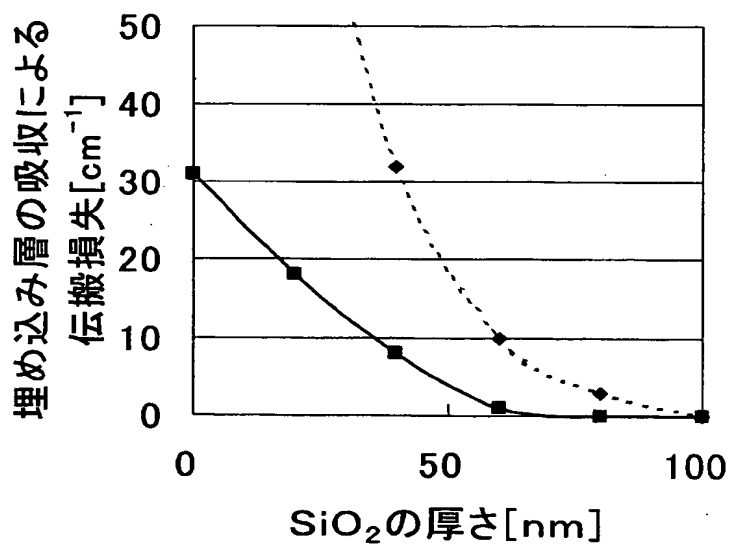


(a)

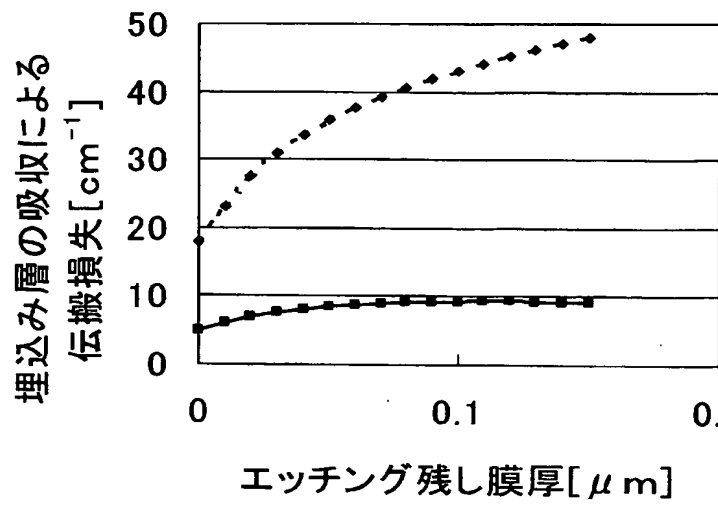


(b)

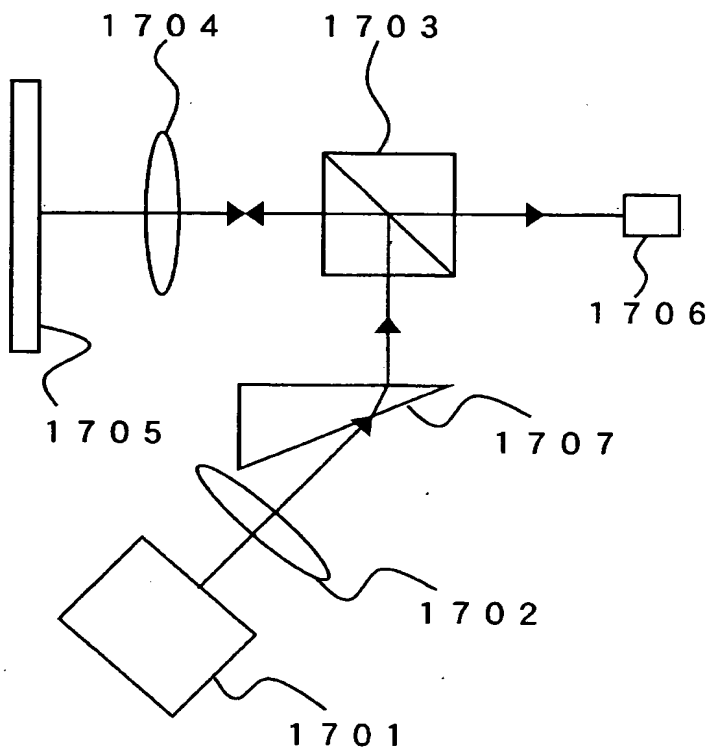
【図15】



【図16】



【図17】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 I-L特性におけるキンクを抑制する新手法を提供し、パルス電流駆動におけるピーク出力が60～100mWの高出力まで基本次水平横モードで発振する半導体レーザ素子を提供する。更に、FFPにおける楕円率を1に近づける方法を提供しスポット形状を円形に近づけた半導体レーザ素子を提供する。

【解決手段】 半導体レーザ素子の構成を、クラッド層における基本次水平横モードの光と1次水平横モードの光に対する放射損失差が $10\text{ cm}^{-1}$ 以上である構成や、クラッド層の屈折率が基本次水平横モードに対する等価屈折率未満であり1次水平横モードの光に対する等価屈折率以上である構成や、上部クラッド層が一部の活性層上にのみ設けられてリッジストライプ構造の少なくとも一部を形成する構成とする。

【選択図】 図1

特願 2 0 0 3 - 0 2 4 7 3 5

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [ 0 0 0 0 0 5 0 4 9 ]

1. 変更年月日 1 9 9 0 年 8 月 2 9 日

[変更理由] 新規登録

住 所 大阪府大阪市阿倍野区長池町 2 2 番 2 2 号

氏 名 シャープ株式会社